Revue des Sciences 1988 & '89

Institut océanographique de Bedford

Laboratoire de recherche halieutique de Halifax

Station biologique de St. Andrews

Canada

92-00789/

Table des matières

RECHERCHE

Survol de 1988 et 1989
S. B. MacPhee, D. I. Ross, et H. B. Nicholls 1

Interactions fluides-roche dans les bassins sédimentaires : nouvelle orientation de la recherche au Centre géoscientifique de l'Atlantique
M. E. Best et B. S. Mudford 6

L'environnement océanographique physique des bancs de pêche de l'Atlantique canadien
J. W. Loder, C. K. Ross, et P. C. Smith 11

Échange d'humidité au-dessus de la mer : le programme HEXOS
S. D. Smith 16

L'étude pilote JGOFS dans l'Atlantique, 1989
A. R. Longhurst, T. Platt, et W. G. Harrison 20

Programme écologique des pêches
P. C. Smith, P. C. F. Hurley, K. T. Frank, S. E. Campana, P. A. Koeller, R. I. Perry, et R. N. O'Boyle 23

Le port de Halifax – comment les courants influent sur la distribution des sédiments
G. B. J. Fader et B. Petrie 31

Processus sédimentaires et habitat
K. Kranck 36

Science et aquaculture : une question d'offre et de demande
R. H. Cook et R. E. Lavoie 40

La santé du poisson en aquaculture
J. W. Cornick et G. Olivier 44

Programmes des centres de pisciculture de la région
G. J. Farmer 48

L'incidence des pluies acides sur l'habitat
G. L. Lacroix, W. D. Watt, et J. F. Uthe 52

à suivre...

La *Revue des sciences de l'Institut océanographique de Bedford, du Laboratoire de recherche halieutique de Halifax et de la Station biologique de St. Andrews* est publiée par la région de Scotia-Fundy du ministère des Pêches et des Océans.

Prière d'adresser tout changement d'adresse et toute correspondance ayant trait à cette publication à la : Division de l'évaluation et de la liaison, travaux maritimes

Ministère des Pêches et des Océans
Institut océanographique de Bedford
C.P. 1006
Dartmouth (Nouvelle-Écosse)
Canada B2Y 4A2

N° de cat. : Fs75-104/1991F
ISBN 0-662-96892-1

An English version is also available.

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1991

Rédactrice en chef :
Thea E. Smith

Traduction :
Secretary of State et Temora Scientific and Translation Services, Halifax (Nouvelle-Écosse)

Production :
Arthur Cosgrove
Francis Kelly

Photographies :
Section de photographie de l'IOB et Image Works Photographic, Halifax (Nouvelle-Écosse)

Assemblage électronique :
Paragon Services, Lower Sackville (Nouvelle-Écosse)

Imprimeur :
McCurdy Printing and Typesetting Limited, Halifax (Nouvelle-Écosse)

L'océan Arctique : son rôle dans le régime climatique du globe
E. P. Jones et R. A. Clarke 56

Île de glace canadienne : études environnementales de la marge polaire au nord des îles canadiennes de l'Arctique
P. J. Mudie, K. Ellis, et B. T. Hargrave 61

La recherche en hydroacoustique
N. A. Cochrane et D. Sameoto 68

Les systèmes de sondage multifaisceaux : nouvel outil cartographique pour le Service hydrographique du Canada
B. Burke et P. Hally 72

Gestion des bases de données dans un institut de recherche océanographique
D. I. Ross 77

Stratégie pour la conception d'un système de données océaniques
D. Gregory et G. Boudreau 78

Nouvelle approche de la gestion d'une base de données spatio-temporelles
H. A. Boudreau, H. P. Varma, et W. Prime 79

Gestion des données géoscientifiques marines
J. Verhoef et A. Sherin 82

ORGANISATION ET PERSONNEL 84

TRAVAUX DE RECHERCHE 85

EXPÉDITIONS 93

CARTES ET PUBLICATIONS 108

Note de l'éditeur : cette édition de la Revue des sciences *a été produite à l'aide de Aldus® Freehand™, Aldus PageMaker®, et Microsoft® Word sur un ordinateur Macintosh II.*

Recherche

Survol de 1988 et 1989

S. B. MacPhee, D. I. Ross, et H. B. Nicholls

D. I. Ross, S. B. MacPhee, et H. B. Nicholls

Les années 1988 et 1989 ont été intéressantes et fructueuses pour les programmes de recherche et d'étude mis en oeuvre à l'Institut océanographique de Bedford, au Laboratoire de recherche halieutique de Halifax et à la Station biologique de St. Andrews. Les paragraphes qui suivent renseigneront le lecteur sur les activités importantes qui se sont déroulées au cours de ces deux années dans les laboratoires du ministère des Pêches et des Océans (MPO) ainsi que dans ceux du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources (EMR) et du ministère de l'Environnement.

Personnel

Voici les principaux changements survenus parmi le personnel durant la période considérée. En février 1988, M. Michael Sinclair a été nommé directeur des Sciences biologiques, à la place de M. James Stewart qui a réintégré ses fonctions de chercheur scientifique. Au sein de la même direction, M. Donald Gordon a été nommé chef de la toute nouvelle Division de l'écologie de l'habitat. Par ailleurs, M. John Pringle a été nommé chef de la Division des pêches et de l'aquiculture benthique et directeur du Laboratoire de recherche halieutique de Halifax. Pour sa part, M. John Ritter est devenu chef de la Division des poissons d'eau douce et des anadromes, au départ à la retraite de M. Neil MacEachern. Il n'y a pas eu de changement parmi les cadres supérieurs de la Direction des sciences physiques et chimiques. Du côté de la Direction de l'hydrographie, M. Paul Bellemare a assumé les fonctions de directeur régional de l'hydrographie en mai 1988. M. Reginald Lewis a été nommé subséquemment surveillant régional des opérations de terrain.

Le Centre géoscientifique de l'Atlantique d'EMR a aussi connu des changements. En août 1988, M. David Ross a été nommé directeur du Centre, succédant à M. Michael Keen, qui a réintégré ses fonctions de chercheur scientifique. M. David Prior est devenu chef de la Subdivision de géologie du milieu marin et M. Matthew Salisbury a été nommé chef de la Subdivision de reconnaissance régionale.

Il n'y a pas eu de changement parmi les cadres supérieurs des laboratoires d'Environnement Canada.

Prix, nominations et distinctions

Voici quelques-uns des prix, nominations et distinctions décernés au personnel de nos laboratoires :

- M. Allyn Clarke (MPO) a été nommé coprésident du Groupe scientifique permanent de l'Expérience sur la circulation océanique mondiale (ECOM).
- M. John Castell (MPO) a assumé la présidence de la World Aquaculture Society, succédant à M. David Aiken.
- En 1988, M. Trevor Platt (MPO) a été le récipiendaire de la médaille G. Evelyn Hutchinson de la «American Society of Limnology and Oceanography», la plus haute distinction décernée par cet organisme.
- Mme Kate Moran (EMR) a été nommée présidente du Shipboard Measurements Panel, organe du Programme international de sondage des fonds marins (Ocean Drilling Project).
- M. A. R. Longhurst (MPO) a été élu membre de la Société royale du Canada.

Prix Huntsman : Le prix A. G. Huntsman, prix d'excellence dans le domaine des sciences de la mer, est décerné chaque année. Il est administré par une fondation privée ayant son siège à l'IOB.

Voici quelques renseignements sur les récipiendaires de ce prix en 1988 et 1989.

Le 2 novembre 1988, M. Carl Wunsch, du MIT, a reçu le prix A. G. Hunstman 1988, en reconnaissance de son importante contribution au développement de nouvelles techniques d'analyse applicables à l'interprétation d'ensembles de données océanographiques et de son rôle scientifique prédominant dans l'établissement des plans des programmes de recherche climatique pour les années 1990.

Dr. Carl Wunsch

Dr. Lawrence R. Pomeroy

En 1989, le prix A. G. Huntsman a été décerné à M. Lawrence R. Pomeroy, de l'université de Géorgie (É.-U.), pour récompenser ses travaux de recherche fondamentale démontrant l'importance des chaînes trophiques bactériennes dans l'océan. Il s'est vu remettre la prestigieuse médaille le 22 novembre 1989.

Faits saillants dans le domaine de la recherche

Voici, énumérées par grandes régions géographiques, certaines des principales activités de 1988 et 1989.

Banc Georges, baie de Fundy, plate-forme néo-écossaise : Des études sismiques de la couche inférieure à l'écorce, effectuées dans le cadre du Programme géoscientifique des régions pionnières de la Commission géologique du Canada, ont fourni de nouveaux éléments d'information sur les marges continentales de la côte est et les bassins connexes. Durant la période considérée, la recherche qui était concentrée sur les marges des Grands Bancs de Terre-Neuve, a été réorientée sur la plate-forme néo-écossaise, dans le but de recueillir des renseignements sur la structure profonde du bassin néo-écossais et de déterminer la composition de la structure qui s'étend de la roche Meguma, en Nouvelle-Écosse, au socle océanique situé à l'est de la marge néo-écossaise. À ces études se sont ajoutés des travaux de coopération avec des scientifiques allemands, s'inscrivant dans l'entente bilatérale canado-allemande.

Par ailleurs, le banc Georges a fait l'objet de recherches majeures dans les domaines de la physique, de la chimie et de la biologie en 1988 et 1989. Ces travaux ont porté notamment sur la circulation et le mélange dus au front de marées, sur la mesure de la turbulence, sur la production de plancton et sur la répartition des larves dans la zone frontale.

Des progrès importants ont été réalisés dans la recherche sur les phytotoxines, grâce aux travaux effectués en biochimie, en écologie du phytoplancton, en physiologie ainsi qu'en toxicologie microbiologique et aquatique. Ainsi, on a entrepris, au printemps de 1989, d'établir régulièrement un profil de la composition en phytoplancton dans un certain nombre d'anses. Cette initiative vise à recueillir de l'information sur les endroits et les périodes non favorables à la mariculture en raison de la présence d'espèces productrices de toxines.

Les années 1988 et 1989 ont également été très actives en ce qui concerne la recherche et le développement de l'aquiculture. La responsabilité du Centre de démonstration et de développement de la salmoniculture est passée des mains du MPO à celles de la «New Brunswick Salmon Growers Association». De plus, on a effectué des recherches ichtyologiques sur la nutrition, sur la pathologie, sur la lutte contre les maladies et sur la génétique. Les principales espèces visées par les travaux sur l'aquiculture sont le saumon de l'Atlantique, le flétan, le bar rayé, le homard et la moule bleue. Les cinq écloseries du MPO ont tourné à pleine capacité, produisant chaque année plus d'un million de saumoneaux destinés aux programmes de mise en valeur des rivières et à des exploitations aquicoles privées.

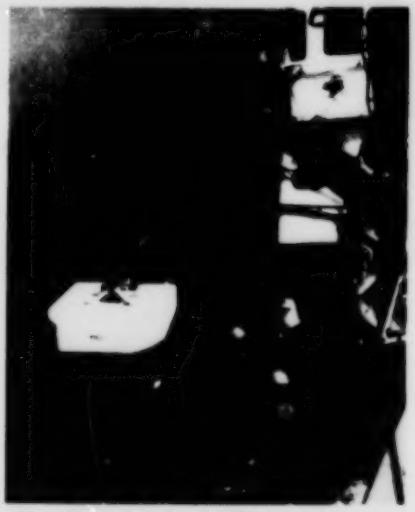
Par ailleurs, on a lancé un programme de recherche sur le merlu argenté pour aider à la gestion de cette ressource et étudier son rôle dans l'écosystème de la plate-forme néo-écossaise.

Des études de la morphologie et de la contamination chimique des sédiments du port de Halifax se sont avérées d'une grande utilité pour l'évaluation de l'emplacement et de la conception d'installations d'épuration des eaux d'égout de l'agglomération de Halifax-Dartmouth. Les recherches qui se poursuivent à cet égard permettront de mieux comprendre la remobilisation et la dissémination des contaminants au sein des sédiments estuariens. Le port de Halifax a également fait l'objet d'études biologiques benthiques, de travaux d'océanographie physique, d'études de la répartition des métaux-traces dissous et particulaires et d'examen des contaminants du homard. (À ce propos, consulter l'article de la revue intitulé *«Le port de Halifax – comment les courants influent sur la distribution des sédiments».*)

Dans le cadre d'une grande étude interdisciplinaire, commencée durant la période considérée, on utilise des techniques de modélisation écologique pour examiner l'impact environnemental de la salmoniculture dans l'estuaire de Letang, au sud-ouest du Nouveau-Brunswick. Cette étude a pour but de recueillir des données sur le nombre de cages à saumon que l'estuaire peut accueillir sans graves conséquences environnementales.

En juin 1989, on a amorcé la deuxième série d'essais du véhicule sous-marin télécommandé Hysub 5000 sur la côte est, à bord du N.S.C. *Dawson*. En 1988, on a procédé à des essais de ce véhicule au large des Bermudes, à bord d'un bateau du ministère de la Défense nationale. Douze chercheurs principaux ont effectué diverses expériences, portant sur l'examen des flux des émissaires d'effluents afin d'en déterminer les effets sur le fond de mer et comprenant également la photographie des couches de zooplancton et d'euphausiacés dans le bassin Émeraude, la cartographie des déblais de dragage ainsi que l'examen et la photographie des habitats du pétoncle et du homard.

Les années 1988 et 1989 ont également été une période de recherche intense sur le phoque gris. On a étudié les tendances des populations de phoques au moyen d'un programme de marquage de tous les phoques nouveaux-nés sur l'île de Sable. De plus, en collaboration avec l'université de Guelph et l'université Dalhousie ainsi qu'avec la «Fisheries Resource Development Ltd.», on a entrepris une étude sur l'élimination du ver du phoque dans les populations de phoques, sur les relations immunologiques entre le phoque et le ver de phoque et sur l'utilisation d'agents de régulation des naissances et d'autres techniques pour réduire et limiter les populations de phoque gris.



Mise à l'eau du véhicule télécommandé à bord du N.S.C. Dawson.

Par ailleurs, de grands pas ont été accomplis en 1988-1989 vers une meilleure interaction et un plus grand partage des connaissances entre les scientifiques et les pêcheurs. Le processus mis en oeuvre à cette fin comprenait notamment des séminaires, des occasions pour les pêcheurs de participer à des campagnes de recherche et pour les scientifiques de se joindre à un bateau de pêche ainsi que la publication régulière d'informations à l'intention des pêcheurs.

Grands Bancs de Terre-Neuve, Mer du Labrador : Des scientifiques du CGA et de l'université Brock ont collaboré à une interprétation géophysique de l'anomalie magnétique de la mer du Labrador et du bassin Orphan. Ils cherchaient à comprendre la nature de la roche sous-jacente de la région afin d'élucider l'histoire du clivage qui a donné naissance à la marge continentale et a subséquemment influencé le développement des bassins sédimentaires qui peuplent maintenant la plate-forme continentale.

Au terme des cinq premières années du Programme géoscientifique des régions pionnières de la Commission géologique du Canada, on a publié un atlas du bassin de la mer du Labrador. Il s'agit du premier d'une série d'atlas des bassins de la côte est, résumant l'histoire de la formation et du développement des bassins du large.

Par ailleurs, au cours de 1988 et de 1989, le Secrétariat de l'évaluation des ressources pétrolières (Petroleum Resource Assessment

Le marquage d'un jeune phoque sur l'île de Sable.

Secretariat) d'EMR a effectué une nouvelle évaluation des ressources en hydrocarbures du bassin Jeanne d'Arc, situé dans le nord-est des Grands Bancs de Terre-Neuve. Le personnel du CGA y a contribué en fournissant les données géologiques nécessaires à l'analyse et à l'évaluation.

Le N.S.C. *Baffin* est revenu à l'IOB le 6 octobre 1989, après avoir mené à bien un vaste programme pluriannuel de levés hydrographiques sur la côte du Labrador. Les hydrographes du *Baffin* ont en particulier effectué des levés des approches du Nain, terminant ainsi une reconnaissance des tracés depuis l'anse de Hamilton jusqu'à Nain. En tout, dix cartes ont été établies pour cette région, dont sept ont déjà été publiées.

Arctique : Au début de 1989, des scientifiques travaillant à partir du N.S.C. *Baffin* ont procédé à une vaste étude de la température, de la salinité et de traceurs chimiques dans le tourbillon de la mer du Groenland. Cette expérience, répétée à plusieurs reprises entre février 1988 et septembre 1989, visait à déterminer quelle quantité d'eau de surface est refroidie durant l'hiver et descend vers le fond de l'océan. Au cours de la mission, on a réalisé les premières mesures du tétrachlorométhane présent dans la mer du Groenland. Ce traceur chimique devrait permettre d'évaluer avec plus de précision les taux de renouvellement des eaux en mer du Groenland.

Par ailleurs, les scientifiques ont poursuivi leur recherche sur l'île de glace canadienne durant son déplacement le long de la marge canadienne nordique. (Voir à ce sujet l'article de la Revue intitulé «*Île de glace canadienne : études environnementales de la marge polaire au nord des Îles canadiennes de l'Arctique*».)

En août 1989, le N.S.C. *Dawson* a récupéré et remplacé une batterie de cinq courantomètres mouillés dans le détroit de Davis. Il s'agissait du deuxième relevage de courantomètres mouillés à longueur d'année à cet endroit. Ces instruments mesurent le transport d'eau de la baie de Baffin à la mer du Labrador.

Haute mer : La Direction de l'hydrographie de la région de Scotia-Fundy du MPO a pour sa part entrepris diverses initiatives dans le domaine de la cartographie électronique. Elle a notamment effectué des essais d'évaluation de la carte électronique de la mer du Nord, durant lesquels elle a fait la démonstration du banc d'essais de la carte électronique du Service hydrographique du Canada à bord du navire norvégien *Lance*.

D'avril à mai 1989, des scientifiques du MPO ont participé à une expérience pilote d'étude du flux océanique global (Joint Global Ocean Flux Study) dans l'Atlantique nord-ouest. Le travail du MPO était axé sur la progression vers le nord de la prolifération printanière de phytoplancton et sur des mesures par satellite de l'abondance de la chlorophylle dans la mer des Sargasses et à l'est du Bonnet Flamand.

Les premiers travaux sur le terrain entrepris dans le cadre d'une étude de la stabilité du talus continental réalisée par le CGA et IFREMER (France) ont été menés à bien au large de Nice en 1989. On a eu recours au profileur sismique DTS Huntec du CGA pour examiner l'instabilité des sédiments là où, en 1979, une partie de l'aéroport de Nice a glissé dans la mer, engendrant un puissant courant de turbidité sous-marin.

Le CGA a continué de prendre part au Programme international de sondage des fonds marins. Pendant la période considérée, M. Felix Gradstein a assumé le rôle de scientifique coresponsable de la campagne 123 dans l'océan Indien qui fait partie d'une entreprise scientifique intégrée visant à forer un transect de trous depuis le plateau Exmouth, situé à l'ouest de l'Australie, jusqu'à la plaine abyssale Argo, dans l'océan Indien. Cette mission, couronnée de succès, a révélé que l'océan Indien était beaucoup plus jeune qu'on ne le croyait. Il en a résulté un réexamen international de l'histoire de l'évolution de cet océan.

Travaux généraux : On a effectué des études portant sur les activités de la pêche commerciale, notamment sur les effets de l'application d'un accroissement des dimensions minimales des mailles de chalut. En outre, on a également examiné les avantages éventuels des chaluts à mailles carrées par rapport aux chaluts à mailles en losange.

Une étude importante portait sur le rôle du zooplancton dans le transport d'azote vers les couches superficielles de l'océan durant sa migration nycthémérale, l'objectif étant de déterminer si le phytoplancton consommé la nuit par le zooplancton des couches superficielles et excrété durant le jour dans les couches océaniques plus profondes occasionne un transfert important d'azote depuis les couches de surface.

En 1989, on a mis en oeuvre le programme d'étude des propriétés des sédiments du littoral (Littoral Investigation of Sediment Properties – LISP), dans le cadre duquel des scientifiques de nombreuses disciplines ont étudié ensemble les interrelations entre les propriétés physiques, géologiques, biologiques et chimiques des sédiments d'un estuaire intertidal. Cette étude a mis en relief les processus de formation des sédiments à grains fins, grâce à la mesure simultanée des attributs des sédiments et de ceux de leur environnement et à l'examen des relations entre divers facteurs atmosphériques et la stabilité de la zone intertidale assujettie à ces facteurs.

Enfin, des spécialistes de la géologie du milieu marin du CGA ont lancé deux programmes d'études côtières améliorées dans le cadre des Nouvelles Initiatives de la Commission géologique du Canada. Le programme de géologie du milieu marin – zones littorales (Marine Geoscience [Coastal Nearshore] Initiative) offre une approche nationale intégrée à la recherche sur les problèmes de géologie côtière, en traitant en même temps de questions précises ayant trait au développement commercial et urbain. Quant au programme relatif aux changements à l'échelle globale (Global

Change Initiative), il donne une impulsion aux travaux du CGA axés sur l'observation des changements environnementaux survenant dans les sédiments marins ainsi qu'à ceux qui portent sur le flux de carbone et les modifications du niveau de la mer.

Participation à des groupes de travail

Voici quelques-uns des groupes de travail auxquels des membres du personnel ont participé en 1988 et 1989 :

- Des scientifiques du MPO ont activement oeuvré au sein du Groupe de travail sur la pêche du poisson de fond dans la région de Scotia-Fundy, présidé par le directeur général de la région, M. J.-E. Haché. Ce groupe avait pour but de dresser un plan d'action pour tenter de résoudre les problèmes de l'industrie du poisson de fond de la région de Scotia-Fundy et de formuler des recommandations susceptibles d'apporter une stabilité à long terme dans cette industrie. Le chef de la Division des poissons de mer, R. O'Boyle, y représentait le secteur des sciences.
- Plusieurs employés de l'IOB ont fait partie du Groupe de travail sur le port de Halifax (Halifax Harbour Task Force), mis sur pied par le gouvernement de la Nouvelle-Écosse pour examiner les répercussions d'un projet d'usine d'épuration des eaux usées de l'agglomération de Halifax-Dartmouth. Il s'agissait de MM. G.B.J. Fader, de D.C. Gordon, de H.B. Nicholls et de B.D. Petrie.
- M. D. Prior, du CGA, a été nommé conseiller technique en chef de la géologie d'ingénierie maritime dans le cadre du projet de développement des Nations-Unies portant sur le bassin boueux de la rivière Pearl, dans le sud de la mer de Chine.
- MM. S.B. MacPhee et S. Kerr, du MPO, ont participé au Groupe de travail sur le réseau d'amélioration de la production océanique (Ocean Production Enhancement Network – OPEN), un des centres d'excellence du gouvernement fédéral.
- M. H.B. Nicholls a représenté le MPO au sein d'une équipe d'observateurs canadiens et américains du Groupe de travail sur le Golfe du Maine (Gulf of Maine Working Group). Le Nouveau-Brunswick, la Nouvelle-Écosse, le Maine, le New Hampshire et le Massachusetts sont membres de ce groupe.

Conférences et ateliers

Les trois établissements régionaux ont été le siège d'un certain nombre d'ateliers et de conférences parrainés, intégralement ou en partie, par le MPO, dont les suivants :

- Atelier sur l'acoustique – Le premier atelier national sur l'hydro-acoustique s'est tenu à l'IOB du 1er au 3 mars 1988. On y a présenté des exposés sur les applications des technologies acoustiques à la recherche halieutique, à l'océanographie biologique et physique, à l'hydrographie, à la géoscience et à la recherche sur les mammifères marins.
- Atelier sur le ver du phoque – Du 20 au 24 juin 1988, le laboratoire de recherche halieutique de Halifax a été le siège d'un atelier international sur le ver du phoque, qui regroupait 29 scientifiques de Norvège, d'Islande, d'Allemagne de l'ouest, du Royaume-Uni et du Canada. Il s'agissait de la suite d'un autre atelier tenu l'année précédente.
- Conférence interdisciplinaire sur la modélisation et l'analyse des ressources naturelles (Interdisciplinary Conference on Natural Resource Modelling and Analysis – ICNRMA) – Cette conférence internationale, tenue conjointement par le MPO et l'université St. Mary's, réunissait des scientifiques d'une douzaine de pays. Elle s'est déroulée à l'IOB du 29 septembre au 1er octobre 1988.
- Atelier sur le Transport à distance des polluants atmosphériques (TADPA) – Le troisième atelier fédéral annuel sur le TADPA s'est tenu à l'IOB du 15 au 17 novembre 1988. Il y a notamment été question du chaulage comme moyen d'empêcher les effets néfastes de l'acidification, et de l'évaluation de l'importance des polluants atmosphériques métalliques et organiques.
- Atelier sur l'aquiculture – La station biologique de St. Andrews a été l'hôte d'un atelier sur l'aquiculture organisé par le Canada et la Norvège en septembre 1989. On y a traité de tous les aspects de la pisciculture, y compris de l'icthyopathologie et de la nutrition du poisson, des impacts environnementaux, de la génétique, de la physiologie et des techniques de grossissement, l'accent étant mis principalement sur le saumon de l'Atlantique.
- Symposium sur le plancher océanique de la plate-forme continentale canadienne – Cette conférence internationale s'est tenue à l'IOB du 2 au 7 octobre 1989. Elle visait à échanger des connaissances, à développer de nouvelles initiatives, et à étayer la recherche actuelle sur la nature et la stabilité du milieu physique et chimique que constitue le plancher océanique de la plate-forme continentale canadienne et des communautés biologiques connexes.
- Ateliers sur le banc Georges – L'IOB a accueilli ces ateliers internationaux les 8 et 9 novembre 1988 ainsi que les 7 et 8 novembre 1989. On y a présenté des études sur divers sujets, dont l'océanographie physique et biologique, l'écologie marine, les pêches et les effets possibles de l'exploitation des hydrocarbures.
- Atelier de recherche sur l'anse de Halifax (Halifax Inlet Research Workshop) – Cet atelier, tenu à l'IOB le 9 novembre 1989, constituait un forum international de présentation et de discussion des résultats de la recherche et des plans relatifs au port de Halifax. En raison du projet d'installation d'une importante usine d'épuration des eaux usées, le port de Halifax a fait l'objet d'un nombre considérable d'études scientifiques en 1988 et 1989. Une centaine de personnes, venant de divers organismes et groupes d'intérêt, ont assisté à cet atelier.

Transfert de technologie

Le 26 mai 1988, l'IOB a accueilli une exposition sur les programmes coopératifs entre des entreprises de l'industrie océanologique canadienne et des scientifiques du MPO et d'EMR. Plus de 50 exposants de l'industrie, des universités et du gouvernement y prenaient part. Plusieurs des nombreux sujets traités portaient sur des transferts de technologie auxquels ont participé des scientifiques du MPO et d'EMR à l'IOB, à la Station biologique de St. Andrews et au Laboratoire de recherche halieutique de Halifax. Par ailleurs, les années 1988 et 1989 ont également été marquées par les transferts technologiques suivants :

- Seastar Instruments Ltd., de Dartmouth, a obtenu une licence pour fabriquer et commercialiser un séismomètre de fond.
- Brooke Ocean Technology Ltd. a pour sa part conclu un contrat de licence pour produire et commercialiser un ensemble de réas conçu à l'IOB.
- Seimac Ltd., de Dartmouth, a obtenu, en automne 1989, un contrat pour mettre au point une sonde biologique (Biological Up Down – BUD) qui permettra d'établir des liens entre le milieu physique à petite échelle, la lumière et la production biologique des couches supérieures de l'océan. Il s'agira d'une extension du principe de l'EPISONDE, conçu par l'IOB.
- La conférence-exposition «Pacem in Maribus», portant sur le développement, la formation et le transfert de technologie en océanologie, s'est tenue à Halifax les 23 et 24 août 1988. Le MPO a coordonné l'événement qui était parrainé par l'Institut international de l'océan (de Malte, de Suède et de Halifax).
- On a financé l'attribution de contrats à des entreprises privées chargées de concevoir une nouvelle technique de manipulation en mer du véhicule télécommandé DOLPHIN.

Visiteurs

Comme par le passé, les trois établissements régionaux ont reçu de nombreux visiteurs de marque, du Canada et de l'étranger. Signalons en particulier les visites du Comité permanent du Sénat sur les pêches, de M. Byong-Kwon, directeur de l'Institut de recherche et de développement océanologiques de Corée, du Forum public Brander-Smith sur la sécurité des pétroliers, et de M. John Woods, directeur des Sciences de la mer au Conseil de recherche sur l'environnement naturel du Royaume-Uni.

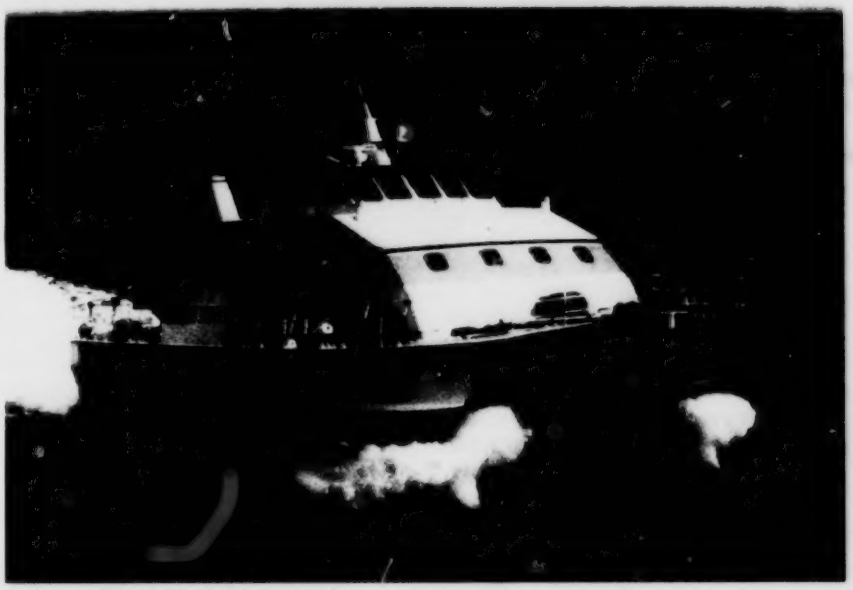
Services de soutien

Faits saillants en ce qui concerne les services de soutien :

- Après plus d'un an d'absence, le N.S.C. *Hudson* est revenu à l'IOB le 21 octobre 1989, au terme d'un carénage de mi-vie. Les améliorations apportées à ce navire lui permettront de continuer à rendre des services utiles à la communauté scientifique de la côte Atlantique durant de nombreuses années.
- Le 1er décembre 1989, le *Frederick G. Creed* est arrivé à l'IOB pour une mission de trois mois, au cours de laquelle on devait évaluer sa capacité à effectuer des levés hydrographiques, des recherches scientifiques et des patrouilles des pêches. Le *Creed* est un bateau SWATH, c'est-à-dire à faible surface à la flottaison et à deux coques jumelles. Les bateaux de ce type permettent de reculer les limites d'exploitation, en particulier dans les cas où les conditions atmosphériques nuisent aux opérations maritimes.

Publications

Les travaux des établissements sont portés à la connaissance de leurs clientèles respectives de diverses façons, notamment par le biais d'articles et de rapports scientifiques ainsi que de cartes marines. En 1988 et 1989, tous les établissements ont continué à faire paraître de nombreuses publications. Ils ont, en particulier, produit plusieurs livres et atlas. On trouvera de plus amples renseignements à ce sujet dans la section de la *Revue* intitulée «Cartes et publications».



Le bateau SWATH Frederick G. Creed.

Interactions fluides-roche dans les bassins sédimentaires : nouvelle orientation de la recherche au Centre géoscientifique de l'Atlantique

M. E. Best et B. S. Mudford

M. E. Best

B. S. Mudford

Les bassins sédimentaires représentent une partie étendue et importante de la masse continentale canadienne, tant sur le continent qu'au large des côtes. Ils comprennent une grande part de nos ressources naturelles, notamment tout notre pétrole et notre gaz. C'est pourquoi de nombreuses études détaillées ont été entreprises, allant des levés et de la cartographie géologiques des bassins à des travaux plus théoriques visant à comprendre la formation des bassins sédimentaires. De nombreux chercheurs du Centre géoscientifique de l'Atlantique (CGA) réalisent des travaux de cette nature en collaboration avec des collègues de l'industrie, du milieu universitaire et d'autres laboratoires gouvernementaux. Bien que beaucoup d'efforts aient été consacrés à l'étude des bassins sédimentaires, nous ne comprenons pas encore en détail nombre de processus qui s'y produisent, en particulier dans le cas de ceux qui se déroulent selon de longues échelles temporelles (de l'ordre de millions d'années), caractéristiques de la formation des bassins sédimentaires. Dans le présent article, nous décrivons la nouvelle orientation que le CGA imprime à sa recherche en vue de comprendre les interactions entre les fluides et la roche dans les bassins sédimentaires.

Processus en cours dans les bassins sédimentaires

Un bassin sédimentaire est une agglomération complexe d'éléments solides et fluides. D'abord, les sédiments clastiques (grès et shales) se déposent en un mélange d'eau et de matières solides en quantités relativement grandes. À mesure qu'ils s'enfouissent avec le temps, ces sédiments se tassent et expulsent beaucoup d'eau. La formation de carbonates (calcaire et dolomite) dans les bassins sédimentaires est régie par la température et la profondeur de l'eau ainsi que par l'apport de sédiments clastiques. La fluctuation du niveau de la mer et l'apport de sédiments clastiques produisent des couches interstratifiées de sédiments clastiques et de sédiments carbonatés. Au cours de l'enfouissement, la température augmente, et plusieurs réactions chimiques deviennent possibles. Ces réactions changent le caractère des sédiments d'origine et les transforment en roche; elles changent en outre la composition chimique de l'eau interstitielle et font augmenter ou décroître la quantité de fluides interstitiels. On les appelle généralement : réactions de diagenèse.

Ces réactions chimiques se produisent dans un contexte hydrodynamique où il y a écoulement des fluides, à grande échelle mais extrêmement lent, vers un équilibre. Cet écoulement contribue à l'efficacité de nombreuses réactions. À l'heure actuelle, nous ne comprenons que partiellement les relations entre ces processus complexes. Il nous faut étudier leurs effets selon les longues échelles de temps qui caractérisent la formation des bassins sédimentaires.

Nous limiterons notre discussion à l'écoulement des fluides dans les sédiments ainsi qu'aux réactions de diagenèse. Les figures 1 à 4 décrivent certains processus qui se produisent dans un bassin sédimentaire. Il est évident que le plus important de ces processus est le dépôt de sédiments, sans lequel un bassin ne pourrait se former. Habituellement, les bassins sédimentaires se forment suite à un phénomène tectonique. Par exemple, le bassin néo-écossais s'est formé en réaction à

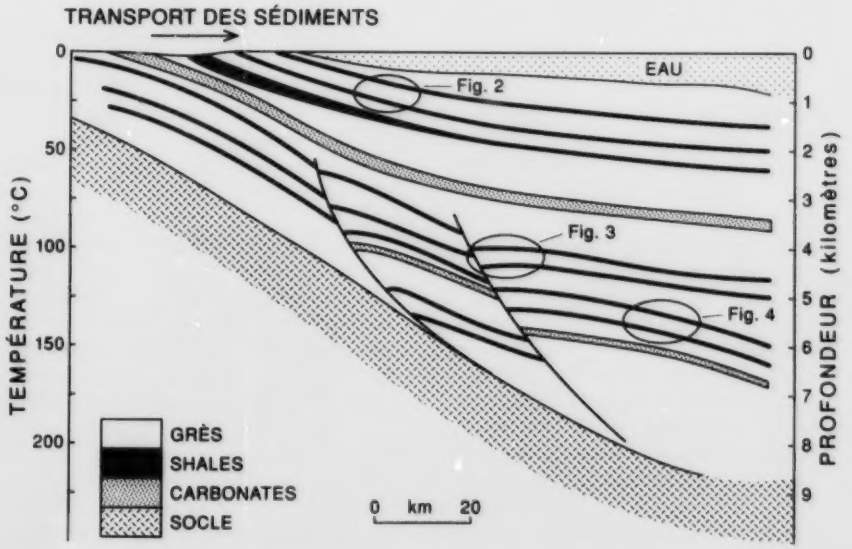


Fig. 1 Schéma d'une coupe géologique d'un bassin sédimentaire montrant les zones d'interaction entre les fluides et la roche en fonction de la profondeur. Les trois régions encerclées sont agrandies dans les figures 2 à 4 pour montrer plus de détails.

l'ouverture de l'océan Atlantique. Après l'apparition d'une fissure initiale, un delta important pour le système proto-fluvien du Saint-Laurent s'y est formé. Les sédiments ont continué à s'y déposer en raison des changements du niveau de la mer et de la subsidence du bassin qui ont découlé du refroidissement et de la contraction de la croûte survenus après la période de températures relativement élevées suscitée par la formation de la fissure.

À mesure que les sédiments s'accumulent, leur poids entraîne une compaction, et une partie de l'eau contenue à l'origine dans les interstices est expulsée. À de faibles profondeurs (fig. 2), les sédiments ont une forte porosité (volume des interstices dans les sédiments) et ils sont relativement perméables (facilité avec laquelle les fluides s'écoulent dans les sédiments). Les sédiments grossiers, notamment les grès, permettront aux fluides de s'écouler plus facilement que les sédiments fins (mudstones et shales). Les carbonates sont plus complexes, et il est plus difficile de prévoir leur perméabilité et leur porosité. De toutes façons, à de faibles profondeurs, les fluides peuvent se déplacer relativement facilement à la fois verticalement et horizontalement. Pour cette raison, la pression des fluides est généralement hydrostatique dans la partie peu profonde des bassins sédimentaires, car les fluides sont en

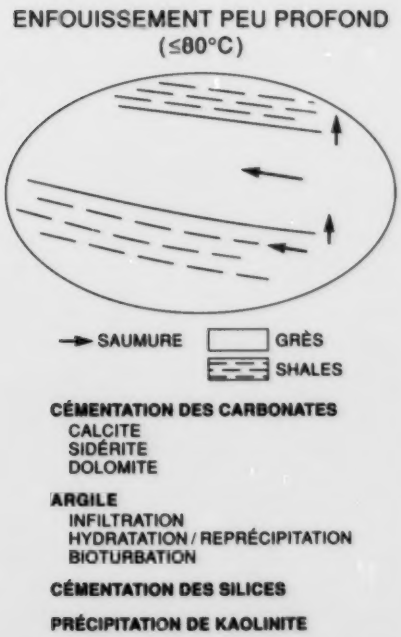


Fig. 2 Zone d'enfouissement peu profond et de faibles températures (≤80°C). Liste des réactions chimiques qui peuvent se produire dans cette zone. Les flèches représentent la direction et l'ordre de grandeur relatif de l'écoulement de l'eau dans le système.

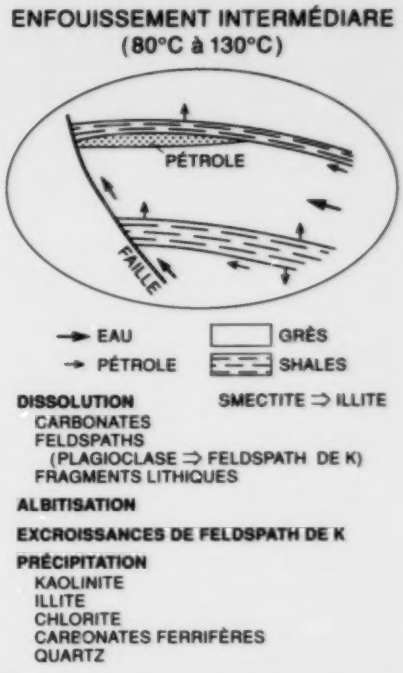


Fig. 3 Zone d'enfouissement et de températures intermédiaires (80°C à 130°C). Liste des réactions chimiques qui peuvent se produire dans cette zone. Les flèches représentent la direction et l'ordre de grandeur relatif de l'écoulement de l'eau et du pétrole dans le système.

contact avec la surface des sédiments.

À mesure que la profondeur d'enfouissement des sédiments augmente, ces derniers deviennent de plus en plus tassés, et la porosité ainsi que la perméabilité décroissent. S'il y a présence de sédiments fins, la perméabilité peut alors diminuer suffisamment pour ralentir de beaucoup l'écoulement des fluides et créer ainsi un obstacle ou bouchon. Au fur et à mesure que le processus se poursuit, cet obstacle peut empêcher la déshydratation des sédiments sous-jacents, ce qui produit des pressions des fluides supérieures à la pression hydrostatique (surpressions).

Une grande partie des sédiments clastiques fins (shales) et de certains carbonates contiennent des débris organiques. À mesure que la température augmente au cours de l'enfouissement, un partie de cette matière organique se transforme chimiquement en hydrocarbures : du pétrole ou du gaz. Cette classe de réactions diagénétiques crée des fluides (et un volume) supplémentaires dans le bassin. S'il y a des quantités suffisantes de matières organiques du type approprié (dérivés de la mer surtout), il se formera, dans une gamme donnée de températures, du pétrole. À des températures plus élevées, le pétrole subira un craquage et se transformera en gaz. Finalement, la température atteindra un degré au-delà duquel il n'y a plus formation d'hydrocarbures. Le pétrole est donc produit à des profondeurs moins grandes (fig. 3) que le gaz (fig. 4). Les profondeurs auxquelles le pétrole et le gaz se forment dépendent du type de matière organique et des gradients verticaux de température. Il existe d'autres types de débris organiques (dérivés surtout du milieu terrestre) qui ne produisent que du gaz.

À mesure que les hydrocarbures continuent à se former dans la "roche source" peu perméable, leur concentration augmente jusqu'à ce qu'elle soit suffisamment élevée pour les expulser (expulsion primaire) dans les grès et les carbonates environnants, plus perméables (généralement de plusieurs ordres de grandeur). Les sédiments perméables permettent aux hydrocarbures, moins denses que l'eau, de migrer par écoulement en raison de leur flottabilité (fig 3 et 4). Les hydrocarbures continuent à s'écouler jusqu'à ce qu'ils atteignent un obstacle imperméable (piège) et s'accumulent jusqu'à ce qu'ils forment un réservoir ou qu'ils s'échappent du bassin. Selon l'échelle de temps géologique, les réservoirs ne constituent pas des pièges

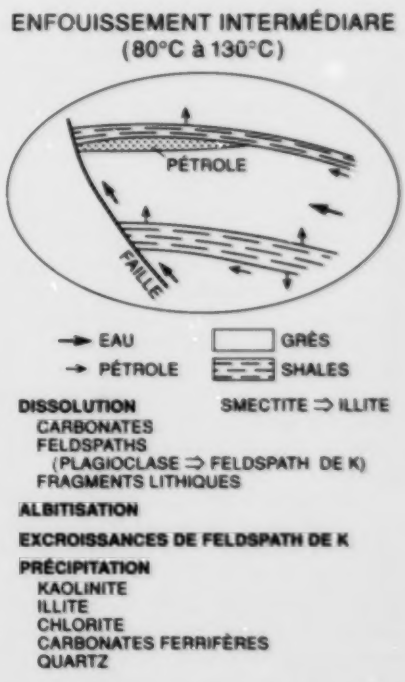


Fig. 4 Zone d'enfouissement profond et de températures élevées (≥130°C). Liste des réactions chimiques qui peuvent se produire dans cette zone. Les flèches représentent la direction et l'ordre de grandeur relatif de l'écoulement de l'eau et du gaz dans le système.

permanents; ils sont par conséquent des phénomènes transitoires.

La figure 3 donne l'exemple d'une faille qui sert de barrière latérale à l'écoulement des fluides. Dans ce cas, les shales du dessus agissent comme obstacle aux fluides dans la structure anticlinale et retiennent bien les hydrocarbures. L'écoulement des fluides dans le voisinage de la faille se fera principalement le long de cette dernière comme le montre la figure 3. Lorsque les hydrocarbures migrent dans une structure close, ils peuvent faire élever la pression des fluides au-delà du point de pression hydrostatique et causer une surpression.

Dans une tranche de sédiments confinée latéralement, l'équilibre hydrodynamique est atteint assez rapidement dans les roches plus perméables. À mesure que la tranche de sédiments s'enfonce en profondeur, la présence de shales, et éventuellement, de carbonates imperméables peut susciter des profils verticaux de pression qui ne sont pas à l'équilibre hydrodynamique. Cela est dû aux faibles vitesses d'écoulement vertical à travers ces roches, de l'ordre de 1 à 10 mètres par million d'années. Ces seules vitesses expliquent l'existence de zones de surpression. Cependant, à l'échelle de temps géologique, l'équilibre hydrodynamique est finalement atteint, même à ces faibles vitesses, de là la raison de notre affirmation précédente selon laquelle ces phénomènes sont transitoires.

La plupart des réactions diagénétiques dans les bassins sédimentaires produisent des changements dans la minéralogie et dans les fluides interstitiels; ces changements modifient la porosité et la perméabilité des sédiments. Ces réactions, qui dépendent de la profondeur (température), peuvent avoir un effet marqué sur les voies d'écoulement des fluides dans le bassin. Les figures 2 à 4 énumèrent les réactions typiques qui ont lieu dans un bassin. La température détermine les réactions probables, mais ces dernières ne peuvent se produire à moins que la minéralogie et la chimie des fluides interstitiels ne soient propices.

Les réactions diagénétiques qui ont lieu dans des sédiments clastiques peu profonds, dont la température est faible (fig. 2), produisent généralement divers céments intergranulaires, dont le plus commun est le cément de carbonate. Ces céments ont un effet important sur les processus diagénétiques subséquents, au cours de l'enfouissement intermédiaire. Ils retardent notamment la compaction mécanique en renforçant le milieu rocheux, et leur distribution influe sur le déplacement des fluides dans le système. Plus tard, la précipitation de kaolinite et de silice a un effet sur la diagenèse et sur les caractéristiques d'écoulement des fluides dans les sédiments clastiques. Les bourrelets d'argile et d'oxydes donnent lieu à un autre ensemble de réactions diagénétiques qui se produisent au début de l'enfouissement. Ils mènent souvent à la formation de bourrelets de chlorites plus tard au cours de la diagenèse, ce qui réduit la cémentation du quartz pendant l'enfouissement intermédiaire.

La zone d'enfouissement intermédiaire (fig. 3) se révèle être une zone de diagenèse intense. Il y règne une température où la plupart des réactions qui accroissent la porosité se produisent. Par exemple, les céments de carbonates déjà précipités et les grains de charpente des aluminosilicates (notamment, les feldspaths) se dissolvent souvent dans cette zone. Malheureusement, cette zone correspond aussi à la gamme de températures (80°C à 130°C) où les réactions qui conduisent à la précipitation de kaolinite, d'illite, de chlorite, de quartz et d'autres minéraux ont lieu. L'importance relative des processus concurrentiels de dissolution et de cémentation dépend de la composition de l'eau et du contenu minéral des sédiments.

Aux profondeurs où la température dépasse 130°C (fig. 4), la dissolution du feldspath de potassium, des anhydrites et des aluminosilicates constitue une autre classe de réactions diagénétiques. La principale réaction réductrice de la porosité est la cémentation du quartz. Cette réaction peut être empêchée, comme nous l'avons mentionné plus tôt, par la formation de bourrelets de chlorite dans les pores, par la migration précoce des hydrocarbures et par la surpression. La réduction thermique des sulfates par les hydrocarbures débute à environ 140°C. On considère que cette réaction cause la dissolution supplémentaire des feldspaths, des carbonates et des sulfates ainsi que la formation de produits comme l'illite, le chlorite et la pyrite, qui a lieu dans les systèmes profonds de sédiments clastiques.

Nous avons donc passé brièvement en revue les réactions chimiques et les comportements d'écoulement des fluides très complexes que l'on observe dans un bassin sédimentaire. Dans la prochaine partie, nous décrirons un modèle simple élaboré au CGA pour l'étude des effets de plusieurs des processus susmentionnés, lesquels sont liés aux causes de la surpression.

Modélisation de la surpression

Dans de nombreuses régions du globe, on a rencontré, au cours des activités de forage, des zones où les pressions des fluides interstitiels sont supérieures à la pression hydrostatique. Le forage en milieu de surpression cause des problèmes allant du blocage des tiges de forage et de l'arrêt de la circulation des fluides aux explosions désastreuses. Il est nécessaire de comprendre et de prévoir les caractéristiques des zones de surpression dans les champs de gaz ou de pétrole pour pouvoir mettre ces derniers en valeur de façon économique et sûre.

Sur une grande partie du sous-bassin de l'Île de Sable, situé sur la plate-forme néo-

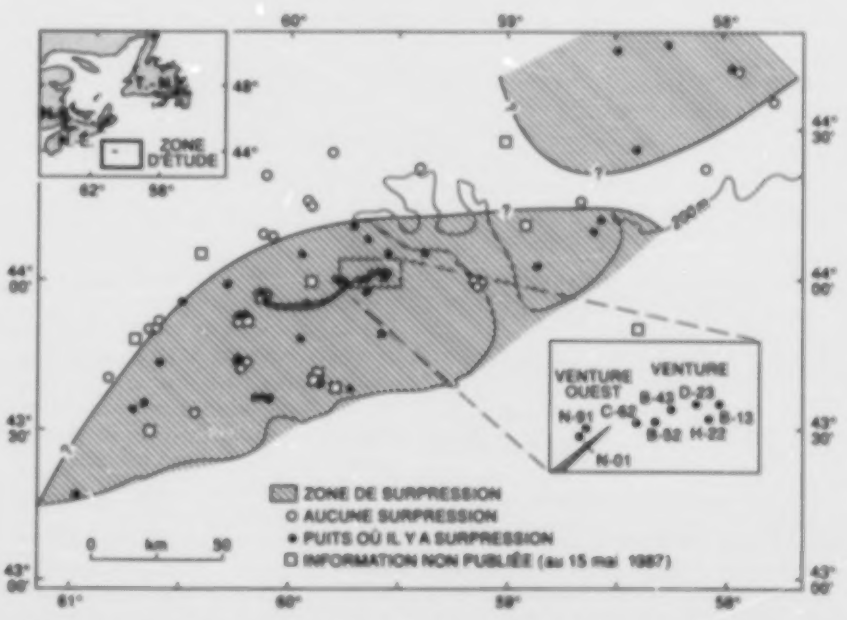


Fig. 5 Sous-bassin de l'Île de Sable, sur la plate-forme néo-écossaise, et zone de surpression. L'encadré montre les puits du champ de gaz Venture utilisés dans cette étude.

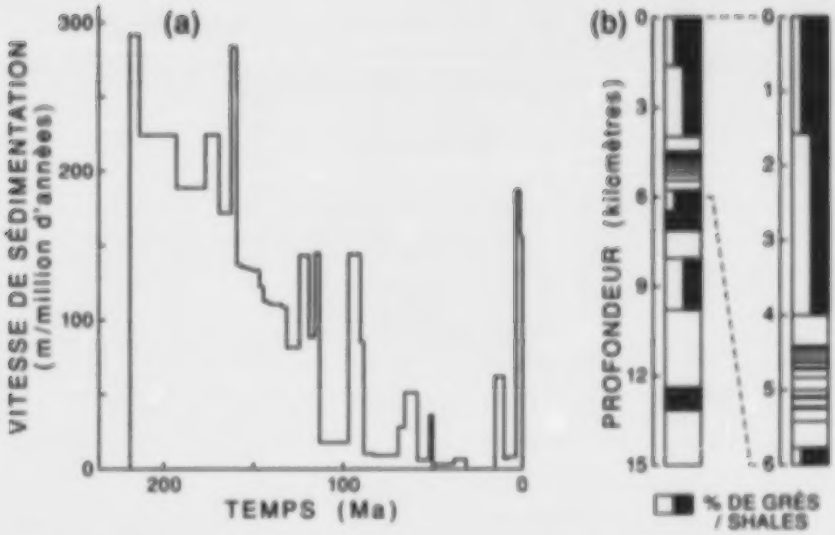


Fig. 6 Effets de la compaction (a) Vitesse de sédimentation en fonction du temps et (b) colonne de sédiments. Les données ont été obtenues dans les puits du champ de gaz Venture.

(150 m/million d'années) alors qu'à 45 Ma, elle est très faible (10 m/million d'années). Les hausses soudaines dans la pression calculée à 0 Ma sont causées par les minces couches de shales que l'on peut observer à des profondeurs de 4 500 à 5 500 m. Cet exemple montre comment il est possible d'utiliser un modèle de ce genre pour étudier les effets de la lithologie et de la vitesse de sédimentation sur la pression interstitielle.

La figure 8 illustre l'effet de la formation d'hydrocarbures dans le cas des données sédimentaires de la figure 6. La quantité et le type de matières organiques peuvent être modifiés dans le modèle pour étudier leurs effets sur la pression. Dans le cas étudié, la proportion de matières organiques de type III (matières d'origine terrestre propices à la formation de gaz) dans les shales était de 2%. Une fois qu'un modèle du genre a été mis au point, il peut servir à examiner l'effet d'un certain nombre de paramètres et à se pencher sur leur importance relative. Le modèle peut en outre indiquer les lacunes dans une base de données de même que les nouvelles mesures

économique, au large de la Nouvelle-Écosse, il y a des zones de surpression. Étant donné la valeur économique importante de la région, le CGA a réalisé une étude sur les processus physiques qui causent ce phénomène. Un modèle unidimensionnel (vertical) a été mis au point. Ce modèle permet d'étudier les effets de la compaction, de l'expansion thermique et de la production d'hydrocarbures tels qu'ils se sont produits durant la formation du bassin au cours des temps géologiques (allant des millions aux centaines de millions d'années). La figure 5 représente une carte montrant la région de surpression du sous-bassin de l'Île de Sable et du champ de gaz Venture, objet principal de nos modélisations.

Un exemple typique des effets de la compaction est décrit à la figure 6. La partie (a) montre la vitesse de sédimentation en fonction du temps, et la partie (b) montre le type de sédiments en fonction de la profondeur. La figure 7 illustre les profils de pression correspondants à trois temps différents. La colonne de sédiment et la vitesse de sédimentation en fonction du temps ont été calculées à partir de données lithologiques et biostratigraphiques recueillies dans les puits du champ Venture. Les données sur la pression actuelle (0 Ma)(millions d'années par rapport à nos jours) ont été obtenues à partir de mesures effectuées dans les puits, notamment des tests sur la maîtresse-tige et sur la production. Dans la partie (b), les différentes réponses de la pression à 90 Ma et à 45 Ma sont reliées à la vitesse de sédimentation (voir partie (a)). À 90 Ma, la vitesse de sédimentation est élevée

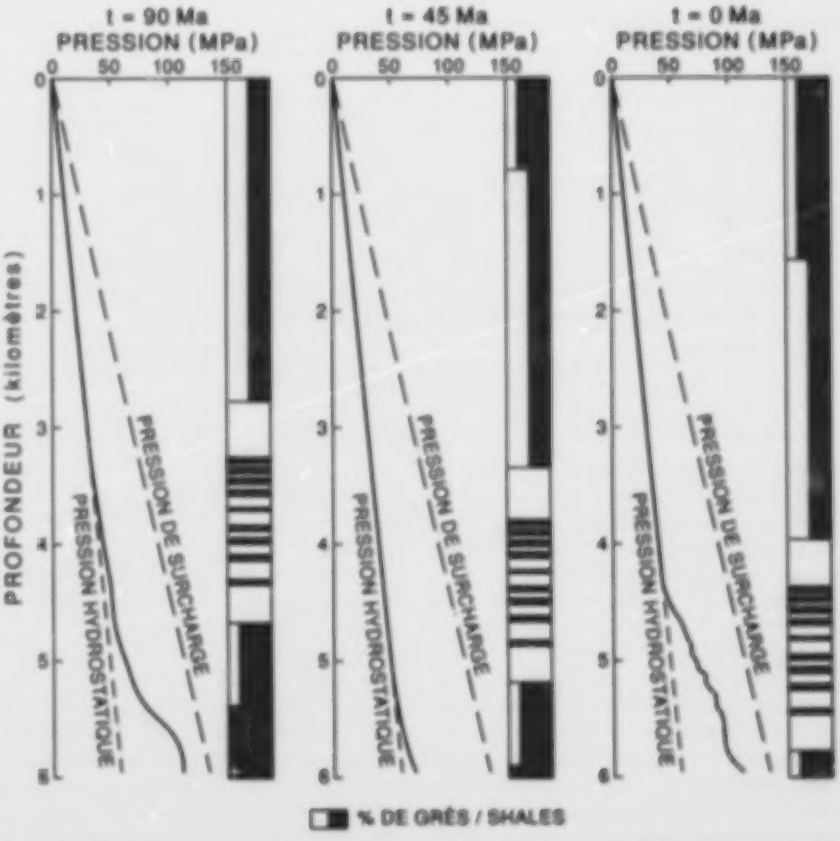


Fig. 7 Profils de la pression en fonction de la profondeur à des temps de 90 Ma, de 45 Ma et de 0 Ma tirés des données sur la compaction de la figure 6.

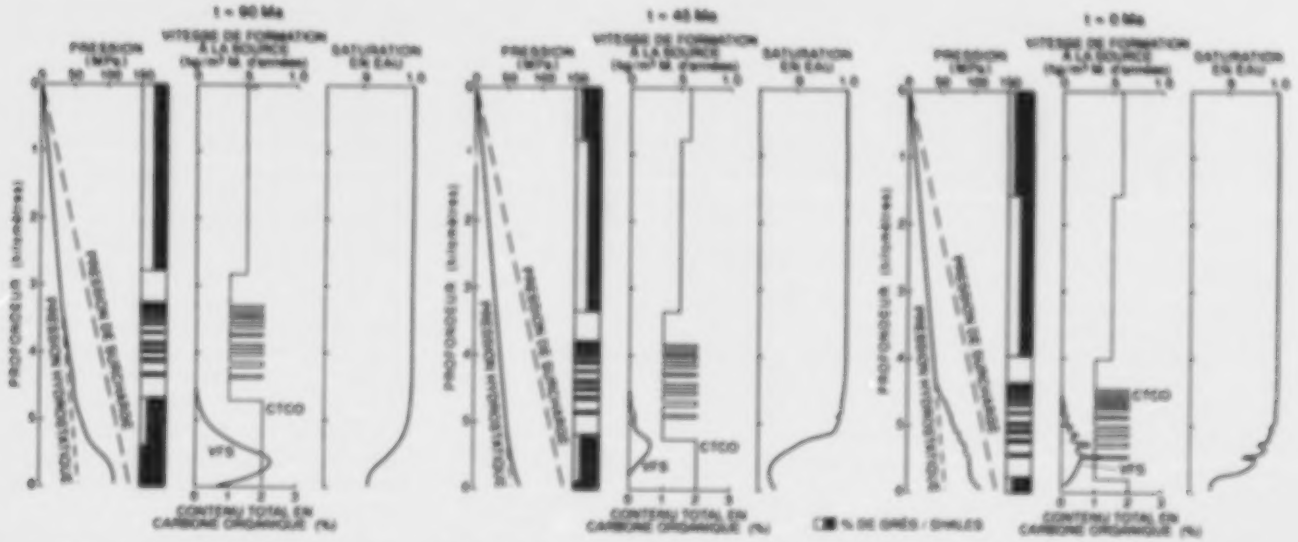


Fig. 8 Profils de la pression en fonction de la profondeur à des temps de 90 Ma, de 45 Ma et de 0 Ma. La vitesse de sédimentation et la colonne de sédiments utilisées sont les mêmes que dans la fig. 6. La formation d'hydrocarbures (gaz) a été incluse dans le modèle en accordant aux shales une valeur de 2% en matières organiques de type III (débris organiques d'origine terrestre).

nécessaires. Il peut être utilisé pour comparer les processus en cours dans différents bassins et pour prévoir les zones de surpression. Il est aussi possible d'ajouter au modèle, sans trop d'effort supplémentaire, une fois que les méthodes numériques fondamentales ont été élaborées, d'autres processus, telle la transformation de la smectite minérale argileuse en illite, accompagnée de l'expulsion de l'eau liée.

Recherches futures

Il reste encore de nombreuses questions en suspens relativement aux processus en cours dans les bassins. Par exemple, quels sont les effets de la diagenèse sur la formation des hydrocarbures et de l'eau interstitielle, sur la distribution des zones de porosité et de perméabilité, sur les voies de migration des fluides et sur la distribution des pressions interstitielles? Comment ces processus dépendent-ils de l'histoire du bassin? On a répondu en partie à certaines de ces questions, mais d'autres n'ont encore jamais été touchées.

Les modèles numériques qui simulent les processus en cours dans les bassins fournissent un bon moyen pour étudier l'effet des variations des paramètres physiques sur la formation d'un bassin. Pour ce faire, il faut mettre au point des modèles bidimensionnels et tridimensionnels qui tiennent compte de l'écoulement des fluides, du flux de chaleur et des processus diagénétiques. Ces modèles doivent être dynamiques (fonction du temps) si l'on veut qu'ils représentent de façon réaliste la formation du bassin sur des échelles de temps géologiques. Il faut inclure dans ces modèles : l'écoulement simultané de l'eau, du pétrole et du gaz; la production et, le cas échéant, la perte de fluides; les réactions thermodynamiques et dépendantes de la température des processus organiques et inorganiques de diagenèse; et de nombreux autres paramètres physiques.

Les mesures des propriétés physiques et chimiques de sédiments particuliers, soit *in situ*, soit au laboratoire, sont obligatoires pour ces études. Par exemple, il est essentiel, pour bien comprendre et modéliser la distribution de la pression interstitielle, de mesurer, dans les gammes de pressions et de températures observées dans les bassins sédimentaires, la perméabilité absolue des shales ainsi que les perméabilités relatives des systèmes d'écoulement multiphases des fluides dans les shales. Les paramètres des réactions cinétiques qui participent aux processus diagénétiques dépendants de la température ne sont pas bien définis. La mesure de ces paramètres faciliterait grandement la compréhension des processus qui se déroulent durant la formation d'un bassin.

En conclusion, un programme équilibré de recherche qui comprend la modélisation numérique, la mesure des propriétés physiques et l'établissement des paramètres fondamentaux des processus physiques et chimiques est nécessaire pour pousser plus avant notre compréhension de la formation des bassins et des processus connexes. Le Centre géoscientifique de l'Atlantique se lance justement dans un programme à long terme de ce genre pour étendre la base de connaissances nécessaires à l'exploration et à la mise en valeur futures du pétrole et du gaz sur les bassins sédimentaires de la côte est canadienne et d'ailleurs au Canada.

Lectures complémentaires

FERTL, W. 1976. Abnormal formation pressures. Elsevier, Amsterdam 382p.

GRANT, A., K. MCALPINE *et* J. WADE. 1986. The continental margin of eastern Canada: geological framework and petroleum potential. In: M.J. Halbouty (éd.). Future Petroleum Provinces of the World. AAPG Memoir 40:177-205.

HUTCHISON, I. 1989. Burial diagenesis: Mineralogical Assoc. of Canada Short Course, Vol. 15:409p.

JANSA, L. *et* J. WADE. 1975. Geology of the continental margin off Nova Scotia and Newfoundland. Geological Survey of Canada paper 74-30:51-105.

MUDFORD, B.S. *et* M.E. BEST. 1989. Venture Gas Field, offshore Nova Scotia: Case study of overpressuring in region of low sedimentation rate. AAPG Bull. 57:1383-1396.

TISOT, B. *et* D. WELTE. 1984. Petroleum formation and occurrence. Springer-Verlag Berlin 699p.

UNGERER, P. *et* R. PELET. 1987. Extrapolation of the kinematics of oil and gas formation from laboratory experiments to sedimentary basins. Nature 327:52-54.

L'environnement océanographique physique des bancs de pêche de l'Atlantique canadien

J. W. Loder, C. K. Ross, et P. C. Smith

P. C. Smith, C. K. Ross, et J. W. Loder

L'une des caractéristiques dominantes de la plate-forme continentale au large de l'Atlantique canadien est la présence de grands bancs sous-marins peu profonds. Plus de 20 bancs ayant des échelles de longueur supérieures à 50 km se trouvent entre Cape Cod, dans l'ouest du golfe du Maine, et Cape Chidley, à la pointe nord du Labrador (voir fig. 1).

Ces bancs ont depuis longtemps une importance économique considérable en raison de leurs ressources naturelles. Les stocks de poissons qui fréquentent leurs eaux sont la cible des flottes de pêche depuis près de cinq siècles. Des études scientifiques effectuées au cours du siècle ont montré que les bancs constituent souvent des zones de frai ou d'alevinage pour des espèces particulières de poissons et que leur productions primaire (croissance des plantes microscopiques à la base de la chaîne trophique marine) est supérieure à celle des secteurs avoisinants de la plate-forme. Durant les dernières décennies, la découverte d'hydrocarbures précieux sous le fond océanique de certains bancs a donné à ces derniers un potentiel économique supplémentaire, quoique l'on se demande si l'exploitation des hydrocarbures est compatible avec le maintien des ressources biologiques abondantes qui s'y trouvent. Tous ces facteurs indiquent qu'il est nécessaire de comprendre les mouvements et les propriétés des eaux sur les bancs sous-marins de l'Atlantique canadien.

Au cours des trente dernières années, les physiciens en océanographie physique de l'Institut océanographique de Bedford (IOB) ont étudié un certain nombre de ces bancs. Dans le présent article, nous décrivons quelques unes des caractéristiques physiques importantes de leurs eaux et nous mettons l'accent sur quatre bancs qui ont fait l'objet d'études coordonnées relatives aux pêches et à l'océanographie physique : le bonnet Flamand, le haut-fond sud-est du Grand Banc, le banc Browns et le banc Georges.

Premières études

Des études en océanograhie physique sont effectuées depuis environ un siècle sur les bancs de l'Atlantique canadien, notamment sur les plates-formes du Labrador et de Terre-Neuve, par la Patrouille internationale des

Fig. 1 Carte bathymétrique de la plate-forme continentale au large de l'Atlantique canadien montrant la série de bancs situés le long du rebord de la plate-forme. Les segments de lignes droites indiquent la position des coupes transversales de mesure des températures illustrées aux figures 2 et 3.

glaces, et dans le golfe du Maine, par des scientifiques américains et canadiens. Les premières études avaient comme sujet principal les variations dans la température et la salinité de l'eau (propriétés qui déterminent la densité de l'eau). Les caractéristiques des courants ont été estimées principalement à partir de la distribution des densités, grâce à la méthode des "côtes dynamiques" qui était nouvelle à ce moment-là et à la récupération de bouteilles dérivantes.

D'après ces études, la variation temporelle prépondérante de la température de l'eau sur la plate-forme de l'Atlantique canadien est un réchauffement saisonnier des premiers 100 m environ par le soleil et la chaleur atmosphérique au cours du printemps et de l'été, suivi d'un refroidissement en automne et en hiver. Les figures 2 et 3 illustrent ces variations dans le cas des quatre bancs considérés et montrent la distribution des températures moyennes en mars et en août sur des coupes verticales des bancs. En mars, après le refroidissement hivernal, les températures de l'eau au-dessus des bancs sont relativement uniformes, avec des valeurs d'environ 4°C sur le bonnet Flamand et sur les bancs Browns et Georges, et de près de 0°C sur le Grand Banc. En août, vers la fin de la période d'apport net de chaleur, un réchauffement prononcé a eu lieu, soit de 10°C ou plus près de la surface avec des valeurs moindres en profondeur.

Cette variation saisonnière de la température représente un aspect important de l'environnement physique des bancs. En ce qui concerne les eaux situées près de la surface, du point de vue qualitatif, les variations

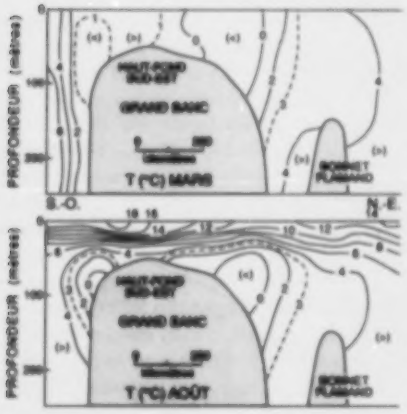


Fig. 2 Distribution moyenne de la température en mars et en août sur une coupe transversale du bonnet Flamand et du Grand Banc, y compris le haut-fond sud-est (voir fig. 1 pour l'emplacement). La distribution est tirée des moyennes mensuelles calculées pour des sous-secteurs de tailles diverses.

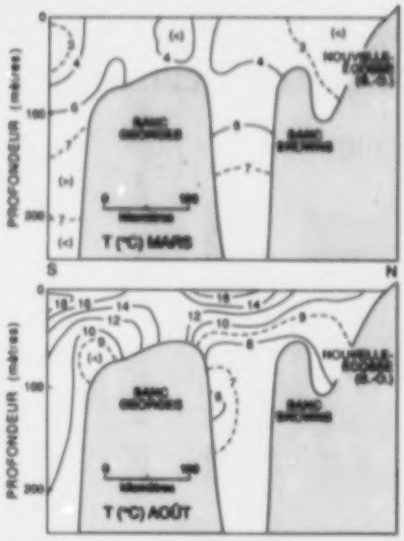


Fig. 3 Distribution moyenne de la température en mars et en août sur une coupe transversale des bancs Browns et Georges. Puisque ces distributions sont tirées des moyennes mensuelles calculées, dans certains sous-secteurs, à une échelle grossière, certaines caractéristiques du champ de température (ex. : stratification réduite au-dessus du banc Browns) ne paraissent pas.

saisonnières qu'elles subissent au-dessus des bancs sont semblables à celles qui se produisent sur la plate-forme avoisinante. Toutefois, puisque les bancs sont plus rapprochés de la surface de la mer, l'eau qui se trouve près de leurs fonds marins subit en général un réchauffement saisonnier (et un refroidissement hivernal) supérieur à celui des régions plus profondes. Ainsi, en été, les températures des fonds marins sur les bancs sont habituellement les plus élevées (de même que l'intensité de la lumière près du fond) de la plate-forme.

À leur tour, les bancs influent sur la distribution et la variation saisonnière de la température (et sur d'autres propriétés comme la salinité et la teneur en éléments nutritifs) en raison des courants plus forts et donc du mélange par turbulence qui a lieu sur leurs plateaux peu profonds ainsi que d'une circulation verticale supérieure sur leurs talus. Ces processus distribuent plus efficacement l'apport de chaleur de la surface dans toute la colonne d'eau, contribuant à réduire légèrement la variation saisonnière de la température des eaux superficielles sur les bancs et à l'amplifier au fond. Ce phénomène se remarque davantage sur le banc Georges, où les degrés de turbulence sont assez élevés pour maintenir pendant toute l'année des températures verticales uniformes (fig. 3). Par contre, il n'y a que peu de variation saisonnière de la température des couches d'eau inférieures sur le bonnet Flamand, plus profond (fig. 2). Ainsi, bien que les variations saisonnières de la température sur les bancs soient qualitativement semblables, il existe des différences quantitatives importantes associées aux différentes latitudes (et donc aux taux de réchauffement en surface), à la profondeur de l'eau, aux régimes des courants et aux masses d'eau du large.

Études récentes

Grâce aux progrès technologiques réalisés au cours des dernières décennies, on dispose maintenant d'instruments que l'on peut ancrer pendant de nombreux mois pour enregistrer les courants, la température et la salinité avec une résolution temporelle croissante. Les mesures prises grâce à ces instruments ancrés constituent la pierre angulaire des études interdisciplinaires effectuées sur les quatre bancs qui nous intéressent ici. Ces études comprennent : une expérience internationale sur le bonnet Flamand (1979-1981), qui a eu pour objet la variabilité du recrutement chez la morue et le sébaste; une étude (1986-1989) de la distribution et de la variabilité des larves de capelans sur le haut-fond sud-est; le Programme d'écologie des pêches du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse (1983-1985), au sujet de la variabilité du recrutement d'aiglefins sur le banc Browns; une étude des essaims de larves de harengs sur le banc Georges (1978); et une étude du front du banc Georges (1988) sur la production primaire et la distribution larvaire.

Dans le cadre de ces études, on a déployé de la manière habituelle des courantomètres munis de capteurs pour la température et (parfois) pour la salinité dans trois à six emplacements, à un nombre de positions verticales variant entre deux et cinq. Dans l'ensemble, les emplacements ont été choisis soit dans le voisinage de zones de frai connues, soit dans des endroits propices à l'étude de caractéristiques de circulation pressenties (comme des courants giratoires résiduels dans le sens horaire) et de leur effet sur la dérive des larves. La figure 4 montre les courants moyens observés à ces emplacements, dont la moyenne a été calculée pour toute la période de mesure (au moins un mois), les différentes positions verticales et les valeurs obtenues dans le cadre d'autres programmes (É.-U.) réalisés sur le banc Georges. Dans le cas du bonnet Flamand et des bancs Browns et Georges, les mesures ont confirmé que les courants moyens sont en majorité parallèles aux isobathes et qu'ils se déplacent dans le sens horaire autour des bancs. Par contre, bien qu'une composante du courant du Labrador se traduise par un écoulement moyen vers le sud, le long de la bordure est du

haut-fond sud-est, les mesures obtenues grâce aux instruments ancrés indiquent une faible dérive vers l'ouest au-dessus du haut-fond au lieu du courant giratoire déjà supposé. Des modélisations théoriques et numériques effectuées à l'IOB ont révélé que ces caractéristiques des courants découlent principalement de la rotation de la terre et de la faible friction de fond qui agit sur le courant du Labrador (dans le cas des bancs de la plate-forme de Terre-Neuve) ainsi que du "redressement" des forts courants de marée sur les bancs du golfe du Maine.

Toutefois, le plus important résultat tiré de ces mesures est l'information quantitative détaillée que l'on a obtenue sur la variabilité temporelle des courants aux emplacements de mesure. L'écart-type de chaque composante du courant par rapport aux moyennes calculées en fonction de la profondeur, illustrées à la figure 4, constitue une mesure globale de la variabilité des courants.

La figure 5 montre deux genres d'écarts-types pour les mesures du courant à mi-profondeur sur chacun des bancs : "l'écart-type du courant total", pour les mesures effectuées à intervalle d'une heure, "l'écart-type du courant mesuré à faible fréquence", pour les mêmes mesures effectuées à intervalles de six heures et pour lesquelles les fluctuations ayant des

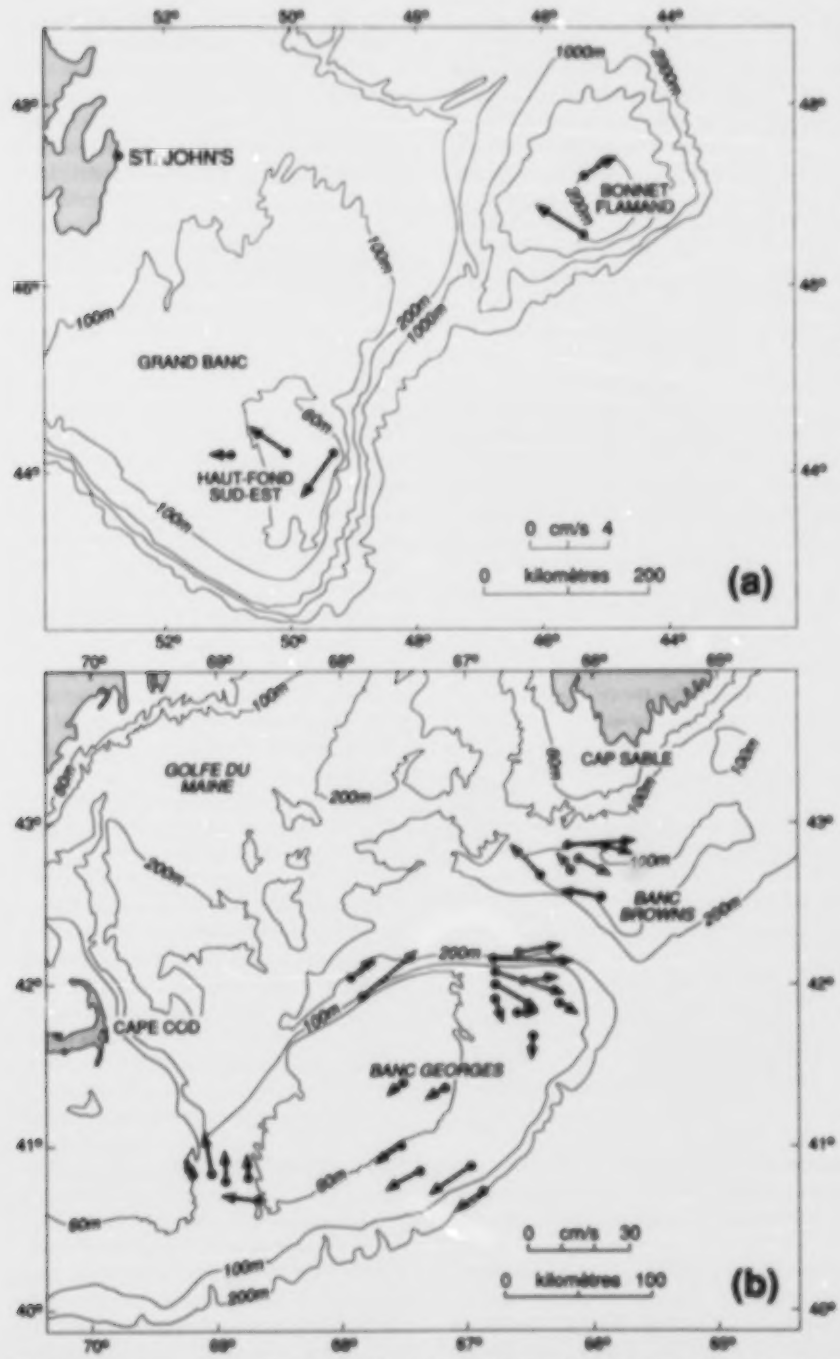


Fig. 4 Courants moyens pondérés en fonction de la profondeur obtenus à partir de mesures faites à l'aide d'instruments ancrés pendant au moins un mois sur a) le bonnet Flamand et le haut-fond sud-est et b) les bancs Browns et Georges. Il est à noter que les échelles de distance et de vélocité sont différentes en a) et en b).

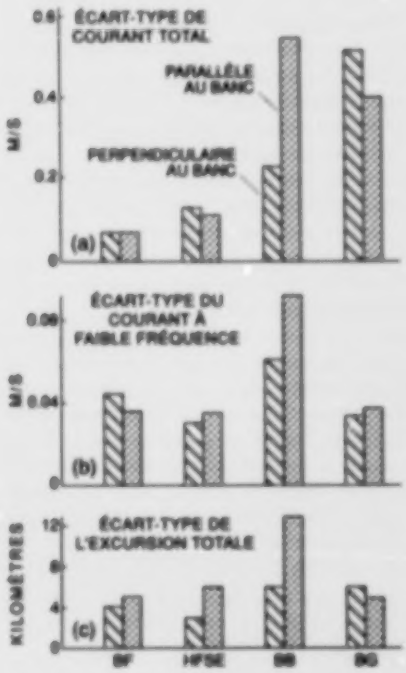


Fig. 5 Écarts-types du courant et de l'excursion calculés pour des relevés choisis à mi-profondeur sur le bonnet Flamand (BF), le haut-fond sud-est (HFSE), le banc Browns (BB) et le banc Georges (BG). La figure montre les écarts-types du courant dans le cas a) de relevés pris à intervalle d'une heure (écart-type du courant total) et b) de relevés pris à intervalle de six heures après filtrage passe-bas (écart-type du courant à faible fréquence). L'écart-type de l'excursion totale (c) est calculé pour des relevés pris à intervalle d'une heure. La figure montre aussi les écarts-types des composantes parallèle et perpendiculaire aux bancs.

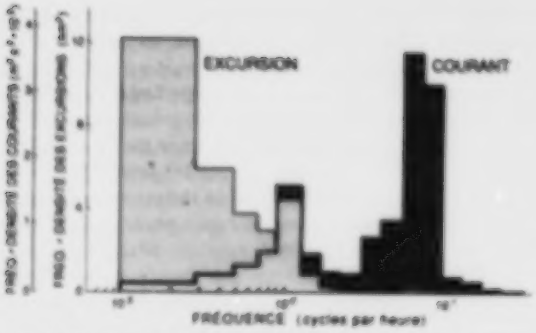


Fig. 6 Spectres des fréquences de la composante du courant perpendiculaire au banc, à mi-profondeur, sur le bonnet Flamand et excursions associées des parcelles d'eau. Les spectres sont présentés de façon à garder une variance constante afin que la surface située sous chaque segment de l'histogramme soit proportionnelle à la variance dans cette bande de fréquence (la fréquence est donnée en unités de cycles par heure).

périodes inférieures à 30 heures environ ont été éliminées par filtrage passe-bas. Les écarts-types sont donnés pour la composante du courant qui longe le banc (parallèle au rebord du banc) et celle qui le coupe (perpendiculaire au rebord du banc).

Le premier point à noter est que les écarts-types du courant total (fig. 5) ont un ordre de grandeur généralement plusieurs fois supérieur à celui du courant moyen (fig. 4); il s'ensuit que les courants instantanés influant sur la dérive à court terme sont contrôlés principalement par les caractéristiques variables plutôt que par les caractéristiques moyennes des courants. Ceci vaut autant pour les bancs de la plate-forme de Terre-Neuve que pour ceux du golfe du Maine, bien que l'ordre de grandeur des courants moyens et des courants variables soit normalement plusieurs fois supérieur dans le golfe du Maine. Les écarts-types calculés pour les composantes parallèle et perpendiculaire ont des ordres de grandeur comparables; il en découle que les courants variables perpendiculaires ont un effet particulièrement dominant par rapport à leur composante moyenne.

Deuxièmement, sur les quatre bancs, les valeurs des écarts-types du courant à faible fréquence sont considérablement moindres que celles des écarts-types du courant total et elles sont inférieures de presque un ordre de grandeur sur le banc Georges. Ainsi, la majeure partie de la variance du courant (écart-type au carré) sur ces bancs est associée aux courants variables de la "zone de marée", dont les périodes varient entre 12 et 24 heures. En fait, elle est associée aux marées semi-diurnes (période d'une demi-journée), en particulier dans le golfe du Maine et la baie de Fundy, où ces marées sont presque en résonance.

Finalement, bien qu'ils soient plus faibles que les courants dans la zone de marée, les courants mesurés à faible fréquence sont très importants pour la dérive à plus long terme des parcelles d'eau et ce, parce que leur période plus longue se traduit généralement par de plus grands déplacements horizontaux des parcelles d'eau, comme l'illustrent (fig. 6) les spectres des fréquences du courant perpendiculaire et les excursions associées des parcelles d'eau sur le bonnet Flamand. Ces spectres montrent les contributions relatives des variations sinusoïdales ayant des périodes de 2 heures à 21 jours à la variance des courants et à celle des excursions. Même si les variations du courant ayant des périodes de près d'une demi-journée et de quatre jours sont les plus énergétiques, les plus grandes excursions sont associées aux variations ayant les plus longues périodes (les plus basses fréquences) résolues dans le spectre. On peut déterminer, à titre de mesure globale de la variabilité des excursions, "l'écart-type de l'excursion totale" en calculant la racine carrée de la variance totale à l'intérieur du spectre des excursions. Cette valeur peut être interprétée comme l'amplitude moyenne des déplacements horizontaux du courant variable pour toutes les périodes du spectre. La figure 5 comprend les écarts-types des excursions pour des relevés choisis à mi-profondeur dans le cas des quatre bancs; elle indique des ordres de grandeur relatifs semblables à ceux des écarts-types du courant à faible fréquence. Ces écarts-types ont des ordres de grandeur variant entre 3 et 13 km, ce qui correspond à des excursions typiques de 6 à 26 km. Il est à noter que les plus grandes excursions s'observent sur le plus petit des quatre bancs, le banc Browns, ce qui indique que l'échange horizontal avec les eaux avoisinantes y est le plus efficace.

Ces aspects de la structure des courants sur les bancs canadiens de l'Atlantique ne sont que des exemples de l'information quantitative que l'on peut obtenir grâce aux relevés établis à l'aide d'instruments ancrés. Les courants et les excursions qui leur sont associées comportent tous deux une composante verticale et une composante horizontale qui sont importantes pour la dérive des parcelles d'eau. En outre, les fluctuations du courant dans des bandes de fréquences particulières peuvent être décrites en détail et liées quantitativement à leurs forces d'entraînement. De même, les relevés de la température et de la salinité obtenus grâce aux instruments ancrés fournissent une multitude de détails que l'on ne peut tirer des relevés établis à partir d'un navire.

Caractérisation en fonction du temps de la circulation et du mélange sur les bancs

Les mesures du courant obtenues à l'aide d'instruments ancrés et d'autres instruments au cours des études effectuées récemment sur le terrain fournissent de l'information quantitative détaillée sur la circulation et le mélange des eaux au-dessus des bancs et indiquent une forte variabilité spatiale et temporelle. L'une des façons de déterminer les effets possibles de l'environnement physique sur les organismes et les processus biologiques des bancs est de comparer entre elles les principales caractéristiques physiques et biologiques pour trouver des indices de variations correspondantes. Ces caractéristiques doivent être représentatives des bancs et de leurs écosystèmes et tenir compte de la variabilité sur les échelles spatiale (souvent petite) et temporelle (courte) qui régissent les interactions physico-biologiques.

Dans le cas de la circulation et du mélange au-dessus des bancs, on peut recourir à une caractérisation simple et pertinente faisant appel aux échelles de temps des échanges dans trois directions perpendiculaires : la direction qui longe le banc, parallèle aux isobathes; la direction qui coupe le banc, perpendiculaire aux isobathes; et la verticale. Pour l'écoulement résiduel semblable à un courant giratoire, parallèle au banc, on peut se servir d'un "temps de recirculation" égal au temps nécessaire à une parcelle d'eau pour faire entièrement le tour du banc. Les statistiques peuvent être estimées à partir des mesures du courant prises par les instruments ancrés (en se servant d'interpolations pour les courants situés entre les emplacements de mesure) ou, de façon plus appropriée, à l'aide des dériveurs suivis par satellite qui ont été utilisés pour compléter les mesures dans la plupart des études menées sur les bancs. Dans le cas des échanges perpendiculaires au banc, le "temps de résidence" peut se définir comme le temps nécessaire pour qu'une certaine fraction du volume total d'eau au-dessus du banc quitte l'emplacement du banc. Ce temps est souvent plus difficile à déterminer, mais il est possible d'obtenir des estimations à partir des dériveurs, des instruments ancrés et des bilans de chaleur et de salinité. Finalement, pour les échanges verticaux, on peut définir "un temps de diffusion verticale" comme le temps nécessaire pour la redistribution verticale d'une particule passive sur une distance particulière, notamment la profondeur de l'eau ou l'épaisseur de la thermocline. Bien qu'il soit parfois possible d'obtenir des données qualitatives sur ce

paramètre à partir de la distribution des propriétés de l'eau (ex. : fig. 2 et 3) et qu'on puisse l'estimer à partir des mesures du courant prises par les instruments ancrés et des mesures hydrographiques, ce paramètre est souvent le plus difficile à déterminer avec précision, car il exige des instruments spéciaux qui résolvent une certaine partie des fluctuations turbulentes.

Les statistiques sur ces échelles de temps constituent une méthode concise de quantification de l'importance des composantes particulières du courant relativement à des courants dans d'autres directions et bandes de fréquence. Par exemple, l'importance (pour la dérive des parcelles d'eau) de tout courant giratoire résiduel parallèle au banc dépend clairement du temps pendant lequel les parcelles d'eau demeurent dans la région de circulation giratoire ou au-dessus du banc. Cette importance peut être évaluée en comparant le temps de recirculation associé au temps de résidence au-dessus du banc à l'échelle de temps des échanges verticaux. À la limite du temps de résidence, qui est beaucoup plus court que le temps de recirculation (c'est-à-dire que les échanges perpendiculaires au banc sont relativement rapides), peut-être à cause des courants variables énergétiques, la giration résiduelle peut n'avoir qu'une faible importance pour la dérive à long terme même si les instruments ancrés indiquent des courants moyens parallèles qui sont significativement différents de zéro.

Dans le cadre de cette caractérisation des échelles de temps, on peut se servir des résultats tirés des études réalisées récemment sur les quatre bancs de l'Atlantique canadien pour obtenir une description quantitative simple des régimes de circulation et de mélange sur ces bancs. La figure 7 en présente un résumé schématique, où chaque banc est représenté par un double cylindre qui indique approximativement la stratification thermale et densimétrique observée pendant la majeure partie de l'année. On s'est servi de flèches pour décrire la recirculation, la résidence et les échanges verticaux; la surface de chaque flèche est inversement proportionnelle à l'échelle de temps à laquelle elle est associée (ou proportionnelle à la vitesse), et normalisée par le temps de résidence; c'est-à-dire que le schéma illustre, pour chaque banc, les temps de recirculation et d'échange vertical par rapport au temps de résidence. Comme nous l'avons suggéré plus tôt et comme nous nous en attendions un peu d'après la variabilité de l'étendue horizontale des différents bancs (fig. 4), il existe vraiment une variation considérable dans les estimations actuelles des temps de résidence, de l'ordre de 10 jours sur le banc Browns jusqu'à 50 jours ou plus sur le bonnet Flamand, le haut-fond sud-est et le banc Georges.

Sur le bonnet Flamand, l'échelle de temps des échanges verticaux est généralement beaucoup plus longue que les temps de résidence et de recirculation; on peut donc s'attendre à ce que les matières qui arrivent sur le bonnet dans la couche supérieure ou inférieure sortent dans cette couche. Le temps de recirculation est supérieur au temps de résidence; on ne s'attend donc pas à ce que les parcelles d'eau fassent le tour complet du bonnet.

D'après l'information disponible, sur le haut-fond sud-est, l'ordre de grandeur du temps de résidence est semblable à celui des échanges verticaux, et il n'y a pas de giration moyenne. Par contre, sur les bancs Browns et Georges, l'échelle de temps des échanges verticaux est généralement beaucoup plus courte que celle du temps de résidence et de recirculation, ce qui entraîne une redistribution verticale considérable des matières à travers la colonne d'eau pendant qu'elles sont au-dessus de ces bancs. Pour l'ensemble du banc Browns, le temps de résidence est plus court que le temps de recirculation, mais dans le cas de sa pointe ouest, ces deux temps ont des ordres de grandeur comparables, ce qui appuie le fait que l'on a observé fréquemment des parcelles d'eau à la dérive faisant le tour complet du banc. Dans le cas du banc Georges, les temps annuels moyens de résidence et de recirculation sont similaires, mais il existe une variation saisonnière, les temps de recirculation étant plus courts que les temps de résidence en été. Ceci indique que la giration résiduelle dans le sens horaire sur le banc Georges est plus importante qu'ailleurs pour la dérive à long terme des parcelles d'eau.

Cette caractérisation ne constitue évidemment qu'un faible progrès vers une description quantitative pertinente de l'environnement physique sur les bancs canadiens de l'Atlantique. D'autres observations et analyses sont nécessaires pour obtenir des statistiques plus fiables sur les échelles de temps importantes et pour résoudre leurs variations saisonnières et autres. Pour améliorer nos capacités de description et de prévision, il nous faut comprendre les processus physiques clés. Il existe en outre d'autres bancs d'importance économique sur lesquels on ne dispose que de données océanographiques restreintes, et il reste à déterminer et à comprendre les effets de l'environnement physique sur les organismes et les processus biologiques.

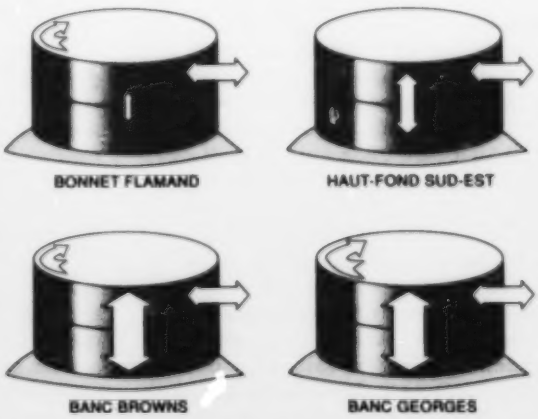


Fig. 7 Résumé schématique des temps de recirculation et d'échange vertical par rapport au temps de résidence sur les quatres bancs.

Lectures complémentaires

LODER, J.W., C.K. ROSS et P.C. SMITH. 1988. A space- and time-scale characterization of circulation and mixing over submarine banks, with application to the northwestern Atlantic continental shelf. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:1860-1885.

LODER, J.W., D.G. WRIGHT, C. GARRETT et B.-A. JUSZKO. 1982. Horizontal exchange on central Georges Bank. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39:1130-1137.

ROSS, C.K. 1981. Drift of satellite-tracked buoys on Flemish cap. Northw. Atl. Fish. Org. Sci. Counc. Stud. 1:47-50.

SMITH, P.C. 1989. Circulation and dispersion on Browns Bank. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:539-559.

Échange d'humidité au-dessus de la mer : le programme HEXOS

S. D. Smith

S. D. Smith

L'évaporation est un processus qui revêt une grande importance en météorologie et en climatologie. La majeure partie de la vapeur d'eau qui entre dans l'atmosphère provient de 71% de la surface de la terre qui est recouverte par les océans. Le flux de chaleur latente associé est un élément important dans le bilan énergétique global qui constitue en particulier la principale source d'énergie des tempêtes en mer. L'évaporation laisse derrière elle de l'eau plus saline et plus dense et la formation de masses d'eau à la surface régit la circulation thermique des eaux marines. Il faut parfaitement comprendre les processus d'évaporation et disposer d'un modèle quantitatif pour résoudre un vaste éventail de problèmes océanographiques et météorologiques, depuis les prévisions météorologiques quotidiennes jusqu'à la modélisation des changements climatiques et ce, aussi bien à l'échelon local que planétaire. Le lecteur sera donc peut-être surpris d'apprendre que la documentation à ce sujet ne fait état que d'une poignée de mesures directes de l'évaporation en haute mer et qu'aucune de ces mesures n'a été prise par grand vent (Smith, 1989).

Mesure de l'évaporation de la mer en surface

En raison des vagues de surface, il est impossible d'isoler et de peser un échantillon de mer en surface pour mesurer directement l'évaporation. L'élimination des vagues ou l'installation d'un bac d'évaporation sur le pont d'un navire modifierait la dynamique et produirait donc des résultats sans valeur. La méthode la plus directe dont on dispose consiste à mesurer le transport vertical de la vapeur d'eau dans la couche limite atmosphérique à quelques mètres au-dessus de la surface; ce flux est égal au taux d'évaporation si l'on ne tient pas compte du taux d'accumulation de vapeur d'eau dû aux changements d'humidité dans la couche d'air intermédiaire. Deux mécanismes assurent le transport de la vapeur d'eau des couches plus humides vers les couches plus sèches de l'atmosphère : la diffusion et le brassage par turbulence. La diffusion ne revêt d'importance que dans la microcouche superficielle dont l'épaisseur est une fraction de millimètre. En cas de tempête, on doit également tenir compte du transport vertical des gouttelettes d'embruns qui peuvent transporter de la vapeur liquide vers le haut pour qu'elle s'évapore à une altitude supérieure.

La méthode de corrélation du flux turbulent permet de mesurer directement le flux vertical de la vapeur d'eau et d'autres gaz de même que la chaleur et l'énergie cinétique dans la couche limite atmosphérique. La densité de la vapeur d'eau à un point de mesure fixe peut être séparée en composantes moyennes et en composantes fluctuantes, respectivement $\overline{\rho_v}$ et ρ_v. Les fluctuations se produisent lorsque de l'air saturé provenant de la surface et ayant une densité de vapeur ρ_s se brasse par turbulence avec de l'air sus-jacent, généralement plus sec. La vitesse du vent au point de mesure peut également être subdivisée en fluctuations et en une moyenne : l'élément fluctuation verticale, u_3, transporte la vapeur d'eau à l'horizontale du point de mesure selon un mouvement montant et descendant, de sorte que le flux de vapeur d'eau instantané est $(\rho_v u_3)$. Le flux de vapeur d'eau moyen, $\langle \rho_v u_3 \rangle$, qui est transporté par les flux turbulents, provient d'une corrélation entre l'humidité et le vent vertical. Le temps qu'il faut pour obtenir une moyenne stable, laquelle dépend de l'altitude du point de mesure (en général de 4 à 20 mètres) et de la vitesse du vent, se situe généralement dans la gamme de 10 à 60 minutes. Le flux ascendant moyen provient de fluctuations apparemment aléatoires dues au fait que les courants ascendants ont tendance à faire monter l'air plus humide depuis les couches proches de la surface alors que les courants descendants font descendre l'air plus sec d'en haut. Si de l'air chaud et humide se trouve au-dessus d'une étendue d'eau froide ($\rho_s < \rho_v$), il est possible d'observer un flux descendant (condensation).

Si l'on veut utiliser la méthode de corrélation des flux turbulents pour mesurer le taux d'évaporation, il faut des détecteurs des fluctuations turbulentes de l'humidité et du vent vertical, un dispositif de soutien fixe de ces détecteurs qui ne fausse pas trop la turbulence du vent et un système permettant d'enregistrer et d'analyser les données en séries chronologiques. La réaction de fréquence nécessaire (en général de 5 à 10 Hz) et le taux d'échantillonnage des données dépendent également de l'altitude de mesure et de la vitesse du vent. On a essentiellement résolu le problème de manipulation des données grâce à des ordinateurs portatifs, mais il reste d'autres difficultés. Un navire ne constitue pas une bonne plate-forme en raison de la distorsion d'écoulement et du mouvement provoqué par les vagues, ce qui explique que la plupart des mesures existantes aient été prises depuis des tours ou des plates-formes situées dans les eaux du littoral peu profondes.

Une méthode moins directe est la méthode de "dissipation" qui permet d'estimer le taux d'évaporation à partir de spectre mesuré des fluctuations intervenant au niveau de l'humidité, de la température et de la vitesse du vent horizontal (Fairall et Larsen, 1986). Cette méthode présuppose la formulation d'hypothèses sur la structure de la turbulence de la couche limite qu'il faut vérifier, mais elle est beaucoup moins vulnérable aux erreurs de distorsion d'écoulement et de mouvement du navire.

Les deux méthodes, la méthode de corrélation des flux turbulents et la méthode de dissipation, nécessitent un détecteur d'humidité à réponse rapide. La majorité des études réalisées jusqu'ici ont eu recours à un humidimètre Lyman alpha qui détecte l'absorption de la raie d'émission Lyman alpha ($\lambda = 0{,}12156$ µm) de l'hydrogène dans la molécule d'eau. L'absorption est si forte que la longueur de la trajectoire n'est que de 1 à 3 cm et que les radiations ambiantes (solaires) sont complètement négligeables à cette longueur d'onde. Les tubes de source et de détecteur ont besoin de fenêtres de cristaux de sel MgF_2 ou LiF, lesquels sont transparents aux ultraviolets lointains et, étant donné leur solubilité dans l'eau, doivent être protégés contre la rosée et les embruns salés. Jusqu'à récemment, ces appareils ont donné des résultats concluants dans le milieu marin uniquement lorsque les vents de même que l'état de la mer étaient légers à modérés. Parmi les autres détecteurs d'humidité à réponse rapide, mentionnons les thermocouples à thermomètre sec et à thermomètre mouillé à fil de faible calibre, les rétractomètres à micro-ondes et plus récemment, les détecteurs d'absorption à infrarouge qui peuvent utiliser des fenêtres à quartz insoluble. Tous ces

détecteurs, compte tenu de leur état de développement, nécessitent les soins minutieux d'experts pour produire des données fiables.

Étant donné que les mesures de l'évaporation par la méthode de corrélation des flux turbulents et la méthode de dissipation nécessitent des efforts et des ressources particuliers, la plupart des études de l'évaporation et du flux de chaleur latente doivent s'appuyer sur une formule empirique pour estimer l'évaporation de quantités en "vrac" qui peuvent être systématiquement mesurées ou modélisées, comme l'humidité, la température de la mer en surface, la vitesse du vent et l'état de la mer. Il devient donc nécessaire de mesurer ces paramètres accessoires en plus de l'évaporation.

Le programme HEXOS

Le programme relatif à l'échange d'humidité au-dessus de la mer (HEXOS) a vu le jour à l'IOB en 1981 dans le cadre d'un atelier organisé par l'OTAN (Smith et Katsaros, 1981). Cet atelier réunissait des spécialistes du monde entier qui ont fait le point sur l'état actuel des connaissances. Ce faisant, ils ont reconnu les graves lacunes des descriptions expérimentales et théoriques de l'évaporation de la mer en surface et ont posé une série de six questions auxquelles il fallait trouver une réponse :

1) Comment se fait-il que le coefficient C_E dans la formule "en vrac" du flux de vapeur $E = C_E(\rho_s - \rho_v)U_r$ dépende de la vitesse du vent, de l'état de la mer et de la stratification? Ici, ρ_s et ρ_v sont les densités de vapeur à une altitude de référence au-dessus de la surface et en équilibre avec l'eau à la température de la mer en surface. U_r représente la vitesse moyenne du vent à l'altitude de référence.

2) La formule ci-dessus peut-elle s'appliquer à des vitesses de vent élevées et dans l'affirmative, à quelle altitude de référence faut-il mesurer l'humidité?

3) Est-il possible de démontrer expérimentalement la corrélation prévue entre l'évaporation et la tension du vent, la stabilité, le déferlement des vagues et la distribution des gouttelettes d'embruns?

4) Dans quelle mesure les mesures de dissipation prises depuis un navire ou une plate-forme fixe permettent-elles d'estimer l'évaporation à partir des spectres de fluctuation du vent et de l'humidité?

5) Est-il possible de corriger les mesures de l'humidité et des fluctuations du vent vertical prises par la méthode de corrélation des flux turbulents depuis une plate-forme fixe en fonction de la distorsion d'écoulement provoqué par la plate-forme?

6) Est-il possible d'avoir des détecteurs d'humidité à réponse rapide capables de fonctionner dans le milieu marin pendant longtemps? Doivent-ils être adaptés à un fonctionnement à plus long terme sur des plate-formes dépourvues d'effectif?

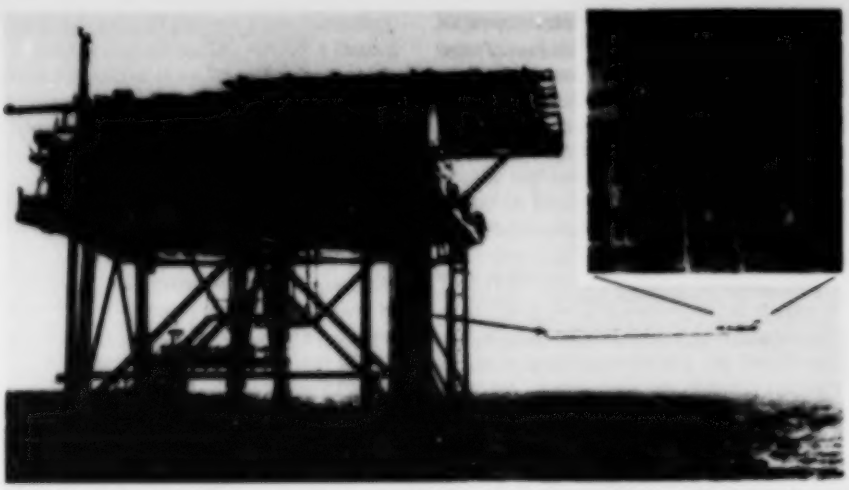


Fig. 1 Meetpost Noordwijk avec détecteurs des flux turbulents installés sur l'estacade durant l'expérience pilote HEXOS de 1984.

Les trois premières questions portent sur le problème de modélisation du taux d'évaporation selon des paramètres plus faciles à mesurer. Les autres questions ont trait aux méthodes et aux techniques expérimentales.

L'atelier HEXOS de 1981 et les débats qui ont suivi ont jeté les jalons du plan scientifique HEXOS (Smith *et al.*, 1983). Ce plan s'articulait autour de la Meetpost Noordwijk (MPN), plate-forme de recherche ancrée au large des côtes néerlandaises en mer du Nord et autour de l'existence d'un vaste tunnel de simulation des interactions air-mer à Luminy, en France. Ce plan proposait une série d'expériences coordonnées pour tenter de répondre à toutes ces questions.

Étude de la distorsion de l'écoulement : Au départ, on ignorait l'incidence que la distorsion de l'écoulement provoqué par la structure de la MPN aurait sur les mesures (voir question 5 ci-dessus). Un modèle à l'échelle 1:25 a été testé dans une soufflerie de la couche limite dans les installations de *British Marine Technology Ltd.* (Wills, 1984). Cette étude a démontré la faisabilité des mesures des flux turbulents sur une estacade située à 16 m en aval de la plate-forme et a permis de simuler l'influence de la structure sur la vitesse mesurée du vent.

Expérience pilote HEXOS : Une estacade flottante de 20 m (figure 1) a été construite dans le but de recevoir les détecteurs de turbulence et d'autres types d'appareils à une distance de 16 m à l'ouest de la MPN, selon les recommandations de l'étude de distorsion de l'écoulement. Une expérience pilote réalisée du 29 octobre au 23 novembre 1984 a permis de vérifier la faisabilité des mesures des flux turbulents, de la distribution des gouttelettes et des mesures connexes effectuées par plusieurs groupes sur la MPN (Oost *et al.*, 1984; Katsaros *et al.*, 1987). Au cours de cette expérience, un groupe de l'IOB a mesuré l'évaporation par la méthode de corrélation des flux turbulents au moyen d'un hygromètre Lyman alpha placé dans un abri nouvellement conçu permettant d'éliminer les gouttelettes d'eau du courant aérien avant qu'elles n'atteignent les fenêtres du détecteur; on s'est également servi d'un anémomètre sonique pour mesurer la turbulence du vent. Par mesure de comparaison, un anémomètre à hélice a été installé sur l'estacade flottante par une équipe de l'Université de Washington tandis qu'un anémomètre à plaque a été exploité par l'Institut de météorologie royale des Pays-Bas. Les membres de l'UW se sont servis de thermocouples à thermomètre sec et à thermomètre mouillé à fil de faible calibre pour mesurer les fluctuations d'humidité et de température. Les moutons de l'océan ont été analysés à partir d'enregistrements magnétoscopiques et les concentrations des particules d'aérosols, la répartition des aérosols selon leurs dimensions et les flux ont été étudiés au moyen de compteurs optiques et de collecteurs à impact inertiel. Le 21 novembre 1984, un appareil Hercules C-130 du *British Meteorological Office* (BMO) a effectué un vol pour étudier la part éventuelle jouée par les gouttelettes d'embruns d'aérosols dans la distribution en hauteur du flux d'humidité turbulent dans la couche limite atmosphérique.

Études HEXOS dans un tunnel de simulation (HEXIST) : Ce volet du programme HEXOS vise la conception de modèles décrivant la production et le sort des gouttelettes

d'embruns provenant des bulles d'air que provoquent les vagues déferlant lorsqu'elles éclatent à la surface de la mer, sans parler de la contribution de ces gouttelettes au flux d'humidité. Les formulations du modèle ont pour base les expériences réalisées à la Grande Soufflerie, tunnel de simulation des vagues provoquées par le vent à l'Institut de mécanique statistique de la turbulence (IMST) à Luminy, en France, où l'on peut contrôler indépendamment la vitesse du vent, les vagues de surface, la température de l'eau et de l'air et l'humidité. Les processus simulés sont : le flux superficiel des gouttelettes d'embruns; le transport turbulent des gouttelettes; l'évaporation des gouttelettes; l'interaction des gouttelettes évaporantes avec les champs turbulents du vent, la température, l'humidité et les vagues; et enfin, le renforcement du flux d'humidité qui en résulte (Mestayer *et al.*, 1989).

Une série de mesures HEXIST ont été basées sur la simulation d'un seul mouton, d'environ 1 m^2 de superficie, au moyen d'un réseau submergé de "bulleurs" d'aquarium en céramique. Cette source locale reproductible de gouttelettes d'aérosol a été placée à diverses distances des sondes dans le cadre de séries distinctes de mesures des effets de la diffusion et du transport turbulents et de l'évaporation sur les concentrations de gouttelettes. On a mesuré l'évaporation en fonction de la demande imposée aux commandes du tunnel en vue de maintenir la température ambiante et le point de rosée (Mestayer et Lefauconnier, 1988). Le comportement des gouttelettes évaporantes durant l'expérience HEXIST 1 (juin 1985) a été simulé au moyen d'un modèle lagrangien des trajectoires des gouttelettes (Edson *et al.*, 1988). Les effets de l'évaporation des gouttelettes sur les champs de vapeur d'eau et de température ont été observés durant l'expérience HEXIST 2 (juillet 1985).

Expérience principale HEXOS (HEXMAX) : HEXMAX, qui s'est déroulée en octobre et en novembre 1986 au voisinage de la MPN (figure 2) a marqué l'apogée des trois expériences préalables, moyennant la participation de 15 établissements de sept pays (Smith *et al.*, 1990).

Avant HEXMAX, l'estacade de la MPN a été reconstruite et renforcée pour supporter des pressions du vent plus fortes. Les trois groupes de l'expérience pilote ont déployé des systèmes à flux turbulent perfectionnés, tandis que le groupe HEXIST installait des appareils de dissipation, à la fois sur l'estacade flottante (pour autoriser une comparaison directe avec les mesures obtenues par la méthode de corrélation des flux turbulents) et sur un mât de 7 m érigé sur l'aire d'atterrissage pour hélicoptères de la MPN où l'on escomptait des effets de la distorsion d'écoulement (afin de tester l'insensibilité relative de cette méthode à ces effets). On a mesuré la répartition des gouttelettes d'aérosol sous le rapport des dimensions et de l'altitude (de Leeuw, 1989), et étudié la composition chimique des aérosols. La hauteur des vagues a été mesurée et des vidéocassettes ont été enregistrées pour obtenir des statistiques sur les moutons.

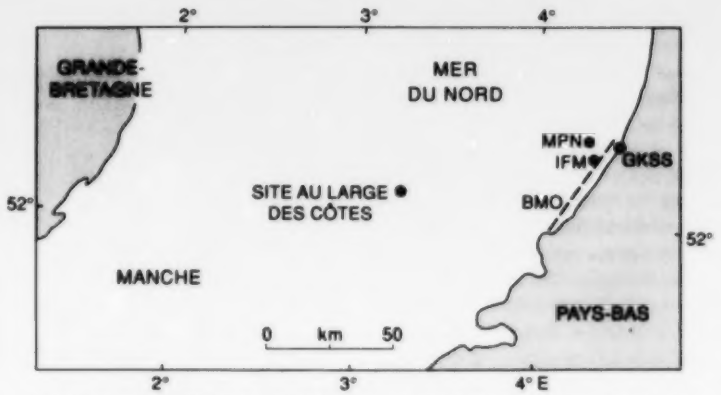


Fig. 2 Zone HEXMAX : Le site d'évolution du R.R.S. Frederick Russell *au large des côtes; la trajectoire de vol des appareils Hercules C-130 du BMO (ligne en pointillés); l'emplacement de la radiosonde, de la sonde captive et de la tour du GKSS; le trépied de l'IFM; et la Meetpost Noordwijk (MPN).*

Au cours de HEXMAX, le R.R.S. *Frederick Russell* a opéré tour à tour dans deux régions : à proximité de la MPN et au large des côtes où les eaux sont légèrement plus profondes (figure 2). Les données provenant de ce deuxième site ont fourni de précieux renseignements sur l'éventuelle influence des eaux peu profondes (16 m) et la proximité de la côte (10 km) sur les flux enregistrés à la MPN. Les mesures prises à bord du *Frederick Russell* comportent des estimations des pertes dues à l'évaporation, au flux de chaleur et à la tension du vent, aux aérosols, au rayonnement solaire, aux observations météorologiques et océanographiques courantes, à l'état de la mer et aux radiosondes (Taylor, 1987). Une équipe de l'*Institut für Meereskunde* (IFM) de l'Université de Kiel a installé un trépied au fond de la mer à mi-chemin entre la côte et la MPN (figure 2); ce trépied installé à une profondeur de 15 m était pourvu d'un mât de 8 m portant des appareils servant à mesurer le vent, la chaleur, l'humidité et les vagues. Un anémomètre à trois hélices et un psychromètre à réponse rapide ont servi à mesurer les flux d'énergie cinétique, de chaleur et d'humidité. Une autre équipe allemande du Centre de recherche GKSS de Geesthacht, a installé un mât de 15 m sur la plage, lancé des radiosondes et attaché des instruments à l'amarre d'un ballon d'observation pour établir les profils du vent, de la température et de l'humidité depuis le niveau du sol jusqu'à une altitude de 450 m. Des conditions météo favorables ont permis de recueillir des données de manière presque ininterrompue dans toutes les stations à partir du 19 octobre.

Pour étudier les variations de l'humidité avec l'altitude, les données des radiosondes et des ballons d'observation captifs ont été effectuées par quatre vols de Hercules C-130 de l'installation de vol de recherche du BMO les 22 et 29 octobre ainsi que les 18 et 20 novembre. Les instruments à bord de l'aéronef ont permis de mesurer le vecteur vent, la température et l'humidité de l'air, les flux turbulents de l'énergie cinétique, de la chaleur et de l'humidité, la température radiative de la mer en surface et les spectres des gouttelettes d'aérosol pour obtenir une image tridimensionnelle de la structure de la couche limite atmosphérique.

L'analyse préliminaire indique que les coefficients de traînée à la MPN augmentent avec la vitesse du vent, comme permettaient de le croire d'autres expériences réalisées dans des lieux analogues, et qu'ils sont sensiblement plus élevés que la formule de Smith (1988) en ce qui concerne l'eau profonde. Les coefficients d'évaporation calculés à partir des données fournies par les humidimètres Lyman alpha de l'IOB et l'anémomètre sonique KNMI n'augmentent pas de manière significative à des vitesses du vent pouvant atteindre 18 m s^{-1}; pas plus que les coefficients d'évaporation UW calculés à partir des mesures prises au moyen d'un psychomètre à thermocouple ou d'un humidimètre Lyman alpha et d'un anémomètre KGill. Considérés ensemble, ces résultats portent à croire que la valeur CEN = 1,2 x 10^{-3}, citée dans une récente communication (Smith, 1989), peut être appliquée jusqu'à une vitesse du vent de 18 m s^{-1}.

Couche limite unidimensionnelle stationnaire d'embruns (CLUSE) : Dans le cadre d'une deuxième série d'expériences HEXOS réalisées dans le tunnel de simulation de l'IMST en 1988 et dans le bac de simulation de moutons de l'Université du Connecticut en 1988 et en 1989, un réseau d'appareils submergés dégageant des bulles d'air a produit des embruns sous l'effet de l'éclatement des bulles tandis que l'on mesurait l'embrun et le flux dans des conditions de vent, de température et d'humidité préétablies (Smith *et al.*, 1990). Le sigle CLUSE est tiré du titre français de l'étude, "Couche limite unidimensionnelle stationnaire d'embruns". La nouvelle série d'expériences de simulation a été entreprise parallèlement à l'élaboration de modèles numériques des interactions locales entre la répartition des gouttelettes et l'écoulement turbulent. On a obtenu une source horizontalement homogène de gouttelettes en suspendant un réseau de bulleurs d'embruns dans des filets à une profondeur de 50 cm sur un fetch de 22 m. Moyennant un flux superficiel des gouttelettes plus important et plus homogène, on a constaté des interactions plus fortes avec les champs turbulents de l'humidité, de la température et de la vitesse. Le projet CLUSE comportait une expérience de simulation principale et une série de quatre expériences de moindre importance visant à concevoir des techniques particulières. Huit groupes ont participé à ces expériences.

Modélisation et paramétrisation HEXOS : L'un des objectifs primordiaux du programme HEXOS est une description quantitative du transport de l'eau, notamment une modélisation détaillée de la diffusion des gouttelettes par turbulence et de leur évaporation dans le champ d'écoulement turbulent. Les progrès à cet égard dépendront de l'interprétation des résultats expérimentaux d'HEXOS ainsi que de la théorie et d'autres données publiées. Plusieurs produits devraient en résulter : une paramétrisation "en vrac" basée sur les données obtenues à des vitesses du vent supérieures à ce qui existait auparavant; un modèle unidimensionnel en régime permanent relatif à la couche superficielle qui incorporera les flux turbulents, les gradients de l'humidité verticale et des gouttelettes d'embruns ainsi que l'évaporation des gouttelettes; et peut-être des modèles plus complexes de la répartition des gouttelettes, de la turbulence et des flux qui se produisent dans la couche limite atmosphérique.

Organisation HEXOS

Un programme international assez important a pu être réalisé grâce à la participation d'équipes d'un certain nombre d'établissements et de leurs organismes subventionnaires. La division scientifique de l'OTAN a financé plusieurs ateliers et couvert certains frais de déplacement. Le programme est coordonné par le comité scientifique HEXOS qui se compose de K.B. Katsaros, W.A. Oost, S.D. Smith et (depuis 1988) P.G. Mestayer. C'est Oost qui a organisé l'expérience pilote HEXOS et HEXMAX tandis que Mestayer a été l'organisateur des expériences HEXIST et CLUSE. Un bulletin de nouvelles HEXOS est publié de temps à autre pour tenir tous les participants au fait de ce qui se passe; 11 numéros ont été publiés jusqu'ici. Cette structure plutôt lâche a donné des résultats concluants grâce à l'esprit de coopération et à l'enthousiasme des multiples participants qui ont mis leurs compétences à contribution pour étudier les processus d'évaporation.

Conclusion

Le programme HEXOS a donné un élan aux recherches sur l'un des processus les plus complexes de la couche limite marine - le flux des gouttelettes de vapeur et d'embruns entre la mer et l'atmosphère. Le succès de l'expérience principale, HEXMAX, s'explique de plusieurs façons : préparatifs soigneux, périodes prolongées de temps idéal et présence de techniciens et de chercheurs extrêmement compétents. Les travaux concertés de nombreux chercheurs ont donné lieu à un ensemble de données plus complet que ce qu'un seul groupe aurait pu produire. Les expériences HEXIST-CLUSE réalisées dans les milieux contrôlés d'un tunnel de simulation des vagues provoquées par le vent et d'un bac de simulation des moutons nous ont aidés à mieux comprendre l'interaction et la rétroaction entre le flux d'eau vertical provoqué par l'évaporation en surface et par les gouttelettes d'embruns. Les prévisions qui s'appuient sur des calculs théoriques et sur les extrapolations de recherches préalables en laboratoire font état de fortes hausses de C_E à des vitesses du vent supérieures à 15 m s^{-1} qui s'expliquent par les effets des embruns sur le flux atmosphère-eau de mer (Ling et Kao, 1976; Bortkovskii, 1987). Ces hausses n'ont pas été corroborées par nos mesures. Nous imputons pour l'instant l'absence d'effets importants des embruns sur le flux net mesuré de vapeur d'eau à la réaction négative sur l'élément d'évaporation superficielle due à une baisse du gradient de densité de vapeur d'eau près de la surface. Cette hypothèse est également étayée par les résultats obtenus en laboratoire. De nombreux travaux de modélisation seront nécessaires pour expliquer entièrement ces mesures et plusieurs méthodes sont en cours d'élaboration.

Références bibliographiques

BORTKOVSKII, R.S. 1987. Air-sea exchange of heat and moisture during storms. D. Reidel, Dordrecht:xiii + 194p.

DE LEEUW, G. 1989. Investigations on turbulent fluctuations of particle concentrations and relative humidity in the marine atmospheric boundary layer. J. Geophys. Res. 94:3261-3269.

EDSON, J.B., C.W. FAIRALL, S.E. LARSEN et P.G. MESTAYER. 1988. A random walk simulation of the turbulent transport of evaporating jet drops in the air-sea simulation tunnel during HEXIST. 7th Conf. on Ocean-Atmospheric Interaction, Anaheim, CA, 31 janvier–5 février 1988. Amer. Meteor. Soc., Preprint Volume:9-13.

FAIRALL, C.W. et S.E. LARSEN. 1986. Inertial-dissipation methods and turbulent fluxes at the air-ocean interface. Boundary-Layer Meteorol. 34:287-301.

KATSAROS, K.B., S.D. SMITH et W.A. OOST. 1987. HEXOS Humidity Exchange Over the Sea, a program for research on water-vapor and droplet fluxes from sea to air at moderate to high wind speeds. Bull. Amer. Meteor. Soc. 68:466-476.

LING, S.C. et T.W. KAO. 1976. Parameterization of the moisture and heat transfer process over the ocean under whitecap states. J. Phys. Oceanogr. 6:306-315.

MESTAYER, P.G., J.B. EDSON, C.W. FAIRALL, S.E. LARSEN et D.E. SPIEL. 1989. Turbulent transport and evaporation of droplets generated at an air-water interface. Dans : J.C. André, J. Coustieux, F. Durst, B.E. Launder, F.W. Schmidt et J.B. Whitelaw (éd.). Turbulent Shear-Flows 6. Springer-Verlag, Berlin:129-147.

MESTAYER, P.G. et C. LEFAUCONNIER. 1988. Spray droplet generation, transport and evaporation in wind-wave tunnel during the Humidity Exchange over the Sea experiments in simulation tunnel. J. Geophys. Res. 93:572-586.

OOST, W.A., K.B. KATSAROS et S.D. SMITH. 1984. HEXOS Pilot Experiment, Meetpost Noordwijk, novembre 1984. Field Project Rep., KNMI, deBilt, Pays-Bas:49p.

SMITH, S.D. 1988. Coefficients for sea surface wind stress, heat flux and wind profiles as a function of wind and temperature. J. Geophys. Res. 93:15467-15472.

SMITH, S.D. 1989. Water vapor flux at the sea surface. Boundary-Layer Meteor. 47:277-293.

SMITH, S.D. et K.B. KATSAROS. 1981. HEXOS-Humidity Exchange Over the Sea: an experimental proposal. Actes d'un atelier de l'OTAN. Rep. BI-R-81-17, l'IOB, Dartmouth (N.-É.):133p.

SMITH, S.D., K.B. KATSAROS et W.A. OOST. 1983. HEXOS-Humidity Exchange Over the Sea: scientific plan. Can. Techn. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 21:v+47p.

TAYLOR, P.K. 1987. R.R.S. *Frederick Russell* Cruise 9/86, 11 octobre–21 novembre 1986. Cruise Rep. 190, Institute of Ocean Sciences, Wormley, U.K.:55p.

WILLS, J.A.B. 1984. HEXOS model tests on the Noordwijk tower. Rep. R-184, British Maritime Technology Ltd., Teddington, U.K.:53p.

L'étude pilote JGOFS dans l'Atlantique, 1989

A. R. Longhurst, T. Platt, et W. G. Harrison

W. G. Harrison, A. R Longhurst, et T. Platt

En avril et en mai 1989, un grand groupe de chercheurs en océanographie biologique du ministère des Pêches et des Océans (MPO) était en mer sur le *Baffin* pour travailler en collaboration avec des océanographes étrangers du R.-U., des É.-U., de la R.F.A. et des Pays-Bas, à bord de navires et d'aéronefs. Globalement, environ 15 mois-navires ont été investis dans l'Atlantique Nord, d'avril à octobre, pour vérifier s'il est possible de mesurer, à l'échelle de tout le bassin océanique, l'assimilation biologique du dioxyde de carbone atmosphérique au-dessus de l'Atlantique Nord.

Ces voyages ont été les premiers à être organisés dans le cadre de la «Joint Global Ocean Flux Study» (JGOFS), coordonnée par le Comité scientifique pour les recherches océaniques (CSRO) (membre du Conseil international des unions scientifiques) à partir de son bureau situé à l'Université Dalhousie. L'organisation même de la JGOFS représente l'une des premières réalisations qui ont découlé de la révolution en océanographie biologique survenue récemment en raison de la disponibilité de données mondiales sur les images couleurs de l'océan révélées par les capteurs des satellites. Cette technique nous permet pour la première fois d'observer de façon presque simultanée la croissance des plantes partout dans les océans.

La croissance des plantes terrestres et des algues marines (y compris le phytoplancton unicellulaire océanique) se fait grâce à l'assimilation du carbone qui provient du dioxyde de carbone atmosphérique. Les taux de croissance végétale à l'échelle du globe, sur le continent ou en mer, n'ont pas encore été mesurés de façon satisfaisante, mais on pense qu'ils constituent un élément majeur du flux du carbone à l'échelle du globe et qu'ils ont donc leur importance face aux problèmes des changements climatiques mondiaux et à l'effet de serre. Des études sur les changements climatiques passés, indiqués par les relevés géologiques, notamment pour les glaciations du Pléistocène, laissent croire maintenant que les changements entre les climats glaciaires et interglaciaires se sont produits beaucoup plus rapidement que l'on pensait. Il est probable que ces changements climatiques rapides, associés à des variations rapides du dioxyde de carbone atmosphérique, n'ont pu survenir que si des changements aussi rapides dans la croissance des plantes marines se sont produits en réaction aux changements dans la force des vents à la surface de la mer; cette réaction des plantes marines, qui les incite à fixer davantage de dioxyde de carbone atmosphérique, est maintenant connue sous le nom d'effet "multiplicateur du phytoplancton".

Le fait que les océanographes biologistes n'ont pas réussi à quantifier avec certitude le taux de croissance global des plantes dans les océans, et donc le taux de fixation du CO_2 atmosphérique, est dû presque entièrement à un d'échantillonnage insuffisant. En effet, les données exhaustives nécessaires pour représenter la croissance des plantes à l'échelle d'océans entiers sont simplement trop coûteuses à obtenir à partir de navires de recherche; nos estimations de la production végétale dans les océans ont donc varié de 100% environ.

Cependant, grâce aux images des couleurs de l'océan obtenues par satellites, nous pouvons maintenant estimer la quantité de matériel végétal à la surface d'un océan entier, d'une saison à l'autre. Des progrès ont été réalisés, à l'IOB et ailleurs, dans l'élaboration d'algorithmes visant à traduire ces images en estimations du matériel végétal total et, finalement, en estimations du taux de croissance végétale. Combinée au déploiement de pièges à sédiments dans des endroits critiques de l'océan, cette information sur la croissance végétale à l'échelle du globe nous fournit un moyen d'estimer l'assimilation du carbone atmosphérique et son emprisonnement dans la mer profonde par le mécanisme appelé populairement "pompe biologique". Le but principal de la JGOFS, laquelle constituera probablement le principal élément de coopération internationale en matière d'océanographie biologique au cours des années 1990, est d'exploiter ces nouvelles techniques et de quantifier le rôle du biote océanique dans le flux du carbone et dans les changements climatiques à l'échelle du globe.

L'étude pilote effectuée dans l'Atlantique en 1989 avait pour but d'acquérir de l'expérience au cours d'une étude intégrée sur la prolifération printanière dans l'Atlantique Nord et d'établir ainsi les bases opérationnelles de l'étude décennale subséquente : la JGOFS. La prolifération printanière dans l'Atlantique Nord a été choisie parce qu'elle est généralement prévisible et qu'elle représente l'un des plus importants phénomènes saisonniers observables dans le champ des couleurs de la surface océanique mondiale, conséquence du mélange intense et en profondeur qui a lieu au cours de l'hiver.

Les navires devaient rester en mer durant toute la période de croissance des plantes, à partir du 15°N, en mars, et suivre la prolifération vers le nord au cours de l'été jusqu'au 72°N (fig. 1). Il a fallu qu'une douzaine de groupes de travail internationaux procèdent à une planification intensive au cours de l'année précédant l'expédition pour établir les marches à suivre des principales expériences à effectuer par chacun des navires ainsi que la présentation à adopter en vue de l'échange des données. Le *Meteor* (RFA) travaillait déjà à l'est de la dorsale Médio-Atlantique lorsque le *Baffin* a quitté l'IOB au début d'avril pour naviguer vers la partie ouest de l'océan. L'*Atlantis II* (É.-U.) et le *Discovery II* (R.-U.) se sont joints à l'opération en avril, alors que l'*Endeavor* (É.-U.) et le *Tyro* (Pays-Bas) ont poursuivi l'étude jusqu'à l'automne. Le travail de tous ces navires avait pour point central une série d'expériences d'une durée de 5 à 15 jours faisant appel à des dériveurs, au cours

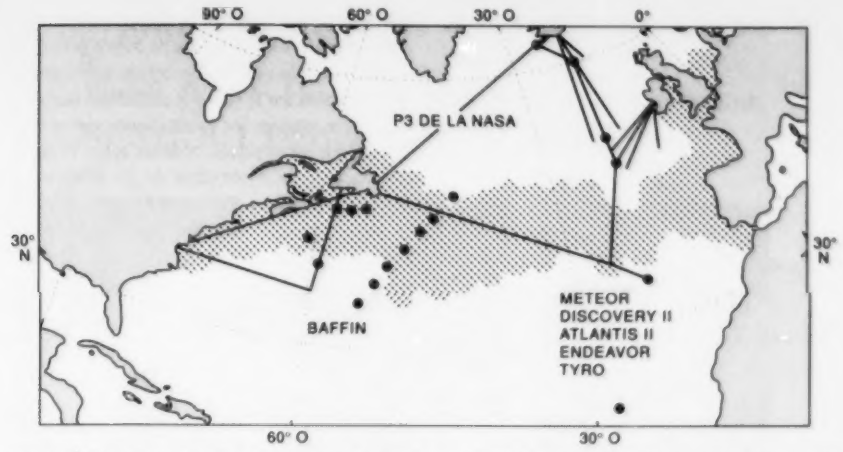


Fig. 1 Étude pilote de la JGOFS dans l'Atlantique, 1989. Toutes les stations canadiennes sont illustrées, mais seules les principales stations situées au sud de l'Islande visitées par les navires européens sont indiquées. La région où l'on prévoit que la prolifération printanière sera la plus active en avril paraît en pointillés. Les trajectoires approximatives suivies par l'aéronef P3 sont indiquées.

desquelles des études du processus d'assimilation et de sédimentation du carbone ont été réalisées, combinées à des observations effectuées en coupes le long de trajectoires nord-sud. Les conditions météorologiques ont été très médiocres en 1989, surtout à la fin de la saison et aux stations situées plus au nord, et elles ont limité les travaux.

De plus, un aéronef P-3 de la NASA a survolé à faible altitude une grande partie de la surface de l'Atlantique Nord en mesurant à l'aide de matériel de télédétection LIDAR la chlorophylle et d'autres pigments végétaux, la température et le rayonnement spectral dans la zone de remontée et de plongée des eaux. Entre la côte est des É.-U., St. John's, les Açores, l'Islande et le R.-U., cet aéronef a établi des relevés sur des milliers de kilomètres à seulement 150 m au-dessus de la surface. Les données réelles de terrain, requises pour étalonner les capteurs, ont été obtenues en survolant à tour de rôle les navires océanographiques, notamment le *Baffin*, le 20 avril. L'ensemble de l'étude a été coordonné à partir d'un bureau provisoire situé à Plymouth (Angleterre), avec lequel les navires en mer gardaient un contact constant.

Outre qu'elle a produit le seul ensemble exhaustif de données sur la prolifération printanière à la grandeur de l'Atlantique Nord et des méthodes d'essai pour des travaux ultérieurs, l'étude pilote a mené à plusieurs découvertes inattendues au sujet de la dynamique de la prolifération printanière. La plus importante a peut-être été celle de l'équipe du R.-U., à bord du *Discovery II*, qui a signalé par radio le 23 mai que sur des profils obtenus le long de leur trajectoire, il y avait une très forte corrélation inverse entre la concentration des algues et la pression de CO_2 (pCO_2), prouvant ainsi que la fixation du CO_2 au cours de la prolifération printanière est contrôlée par des facteurs biologiques. Les scientifiques de l'*Atlantis II* ont rapporté que les grands vents de la fin mai ont réapprovisionné la couche de surface en éléments nutritifs, maintenant ainsi la prolifération printanière, et que la distribution sous-superficielle de l'ammonium a montré qu'une grande part de la production était recyclée dans les premiers 100 m au lieu de couler vers l'intérieur de l'océan. Ils ont signalé en outre qu'à mesure que l'activité biologique et que la sédimentation des particules augmentaient, la pCO_2 décroissait, autre preuve du rôle que joue la prolifération printanière dans le contrôle du flux du CO_2 de l'atmosphère vers la mer. En juin, l'*Endeavor* a pu localiser et étudier des proliférations discrètes de coccolithophores, sur 10 à 20 km de diamètre, à 62°N, identifiées en temps quasi-réel à l'aide des images satellites AVHRR.

Sur le *Baffin*, les scientifiques de l'IOB sont arrivés à leur station du sud (32°N) avec du matériel en bon état de fonctionnement malgré un trajet plutôt difficile à partir de Halifax. Ils ont constaté que cette station se trouvait dans une masse d'eau qui n'avait pas subi le mélange hivernal normal, et ils n'ont pu observer aucune trace de prolifération printanière. Ils ont été surpris de trouver à cette station, qui avait été occupée plusieurs fois en d'autres saisons par le groupe de l'IOB, une situation plus stable et des quantités de chlorophylle phytoplanctonique plus faibles que les fois précédentes. Ils avaient prévu exactement le contraire pour cette saison.

Ils ont ensuite étudié une section, du 32°N au 47°N, en ayant notamment recours à des

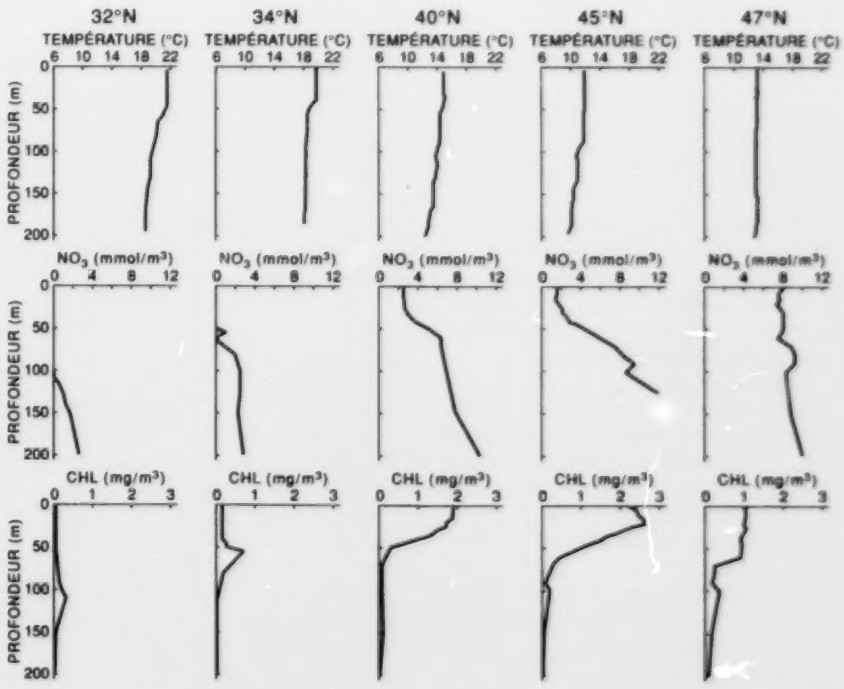


Fig. 2 Profil de la température, de la chlorophylle-a, des nitrates et de toutes les particules de 1µm à 5µm montrant la progression de la prolifération printanière en allant vers le nord.

dériveurs pendant une durée de six jours à deux stations, au 40°N et au 45°N, respectivement, où des pièges à sédiments MULTITRAP ont été déployés à 150 m, 250 m et 500 m. Cette section traversait la zone de prolifération printanière en évolution; cette dernière s'est révélée moins avancée à mesure que l'on progressait vers le nord, comme l'ont indiqué l'intensité et la profondeur des pics de chlorophylle et le degré d'absorbtion des nitrates par les plantes dans la couche mélangée.

Cette exploration initiale de la prolifération printanière en haute mer a montré qu'au 40°N, les très petites cellules dominaient, même si l'eau verte contenait des teneurs en chlorophylle-a allant jusqu'à 2,8 mg m^{-3} et que les éléments nutritifs (nitrates et silicates – voir figure 3) étaient encore loin d'être épuisés. On n'y a observé que très peu de diatomées, bien que ce soit ces cellules que l'on trouve normalement au cours de la prolifération printanière et que l'on s'attende à ce qu'elles soient responsables de la plupart de la couleur de l'océan pendant les premières étapes de la prolifération, avant que les nitrates de la couche mélangée ne soient épuisés. En fait, les nannoflagellés, les cyanobactéries et les prochlorophytes, mesurant entre 0,8 et 10,0 µm ont produit presque toute la chlorophylle mesurée. On s'attend à ce que ces organismes se développent après la prolifération des diatomées, une fois que celles-ci ont épuisé les nitrates présents dans la couche mélangée avant leur prolifération.

Il est apparu que la croissance de la population des petites cellules photosynthétiques a été restreinte par le broutage dû au microplancton, en majeure partie unicellulaire; cette conclusion a été tirée d'après des expériences effectuées sur l'*Atlantis II*, au 47°N, dans l'Atlantique est, et on prévoit qu'elle sera confirmée, dans le cas de notre station, par les résultats d'expériences similaires effectuées à bord du *Baffin*. À cette station, l'exportation de carbone à 150 m était équivalente à 24% de la production primaire relevée dans les couches superficielles.

Au 45°N, la situation était plus classique, et une prolifération avancée de diatomées, dominée par *Rhizoselenia* a été observée. Toutefois, l'apport de nitrates n'a pas semblé limiter la croissance des diatomées, comme des études antérieures l'avaient prévu; ce sont plutôt les silicates qui ont constitué le facteur limitant. Cette observation a été confirmée par des expériences de restriction des silicates effectuées à cette station. Les scientifiques de l'*Atlantis II* ont également obtenu ces résultats surprenants, à environ 1 000 km à l'est; il est donc probable que ce phénomène s'étend à tout

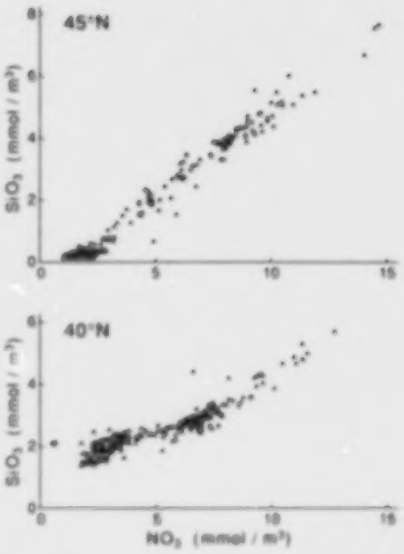


Fig. 3 Régressions des concentrations des silicates et des nitrates dans la couche mélangée. Au 40°N, aucun de ces éléments nutritifs n'est encore un facteur limitant pour la croissance des plantes alors qu'au 45°N, l'effet de la concentration limitée des silicates, plutôt que celui prévu de la concentration des nitrates, est clairement observable.

l'océan. Notre surprise devant ce résultat crucial provient peut-être du fait que la majorité des études sur la prolifération printanière dans l'Atlantique effectuées dans le passé ont eu lieu sur la plate-forme continentale, où l'approvisionnement en silicates provenant des eaux peu profondes a un effet dominant sur l'équilibre des éléments nutritifs. Il est possible que ce résultat indique une différence fondamentale entre la plate-forme continentale et la haute mer en ce qui a trait aux éléments nutritifs qui limitent la prolifération printanière.

Les 18 scientifiques de l'équipe du MPO, à bord du *Baffin*, ont divisé leurs travaux en neuf projets différents. Outre qu'ils ont appliqué les marches à suivre quotidiennes de la JGOFS pour obtenir les profils de salinité, de température, de densité, de l'oxygène, de l'irradiation, de la biomasse et des taux de croissance phytoplanctonique et bactérien, ils ont réalisé de nombreuses études de processus et ont procédé à des observations spéciales. Les études à l'aide de pièges à sédiments ont été liées à des calculs de la production végétale totale fondés sur les quantités d'éléments nutritifs renouvelés et d'apports en nitrates dus à la turbulence et au mélange hivernal. On a mis l'accent sur la relation entre la respiration bactérienne ambiante et la coagulation de surface associée à la formation de bulles près de la surface et à la croissance rapide subséquente des bactéries sur le substrat organique coagulé. À chaque station, les scientifiques ont obtenu des profils numériques, répartis selon la taille, des bactéries hétérotrophes, du picoplancton et du nannoplancton autotrophes ainsi que des protistes de plus grande taille à l'aide des techniques de flux cytométrique ou de Coulter. Grâce à des expériences de broutage faisant appel à la technique de dilution, ils ont mesuré, à la plupart des stations et des profondeurs, les activités bactérivores et herbivores du plancton protistien unicellulaire. Finalement, ils ont examiné dans le cadre de nombreuses expériences réalisées à la plupart des stations, les rythmes circadiens d'alimentation, le pigment des pelotes fécales et la production de carbone par les copépodes planctoniques dominants.

On s'est servi des expériences effectuées par tous les navires participant à l'étude pilote dans l'Atlantique pour élaborer par la suite le plan scientifique des principales études de la JGOFS, lesquelles seront réalisées au cours de la prochaine décennie dans les océans Atlantique et Pacifique. D'autres pays ont maintenant indiqué leur intention de participer à ces études, et on procède actuellement à la coordination de tous les programmes nationaux de la JGOFS en une seule série d'études internationales dans le but d'obtenir un tout plus grand que la somme de ses parties. À cette fin, un bureau permanent de la JGOFS a été établi avec l'appui du CSRO à l'Institüt für Meereskund, à Kiel. Un biologiste du MPO appartenant au Centre des pêches de l'Atlantique nord-ouest (CPANO), de St. John's, Terre-Neuve, a été nommé à titre de directeur scientifique de la JGOFS; ce dernier est chargé de la fonction de coordination au bureau de Kiel.

Les tâches scientifiques à entreprendre par la JGOFS au cours des années 1990 sont suffisamment complexes pour qu'il ne soit pas possible de les réduire à une série de mesures critiques, hautement définies, à réaliser dans un réseau de stations convenu à l'échelle du globe. Cependant, ce qui résultera de la Joint Global Ocean Flux Study seront des mesures suffisantes des processus qui contrôlent le flux vertical du carbone pour nous permettre par la suite d'établir les paramètres de ce flux grâce à des algorithmes particuliers aux régions qui relieront les images couleurs de l'océan au flux vertical du carbone. Cela augmentera notre capacité à comprendre le rôle du biote océanique en tant qu'agent de changement climatique.

Programme écologique des pêcheries

P. C. Smith, P. C. F. Hurley, K. T. Frank, S. E. Campana,
P. A. Koeller, R. I. Perry, et R. N. O'Boyle

P. C. Smith

P. C. F. Hurley

K. T. Frank

S. E. Campana

P. A. Koeller

R. I. Perry

R. N. O'Boyle

La pêche du poisson de fond au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse constitue la principale activité économique de la région. L'industrie de la pêche procure de l'emploi à environ 12 000 personnes et elle génère des revenus annuels d'à peu près 100 millions $ (valeur des prises débarquées). Parmi les diverses espèces de poissons de fond, l'aiglefin est l'une des plus recherchées et de celles qui atteignent les prix les plus élevés.

L'aiglefin pris au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse fait partie du stock d'aiglefin de 4X de l'Organisation des pêches de l'Atlantique nord-ouest (OPANO), ce groupe d'aiglefins étant distinct des autres groupes de l'Atlantique nord-ouest. Les gestionnaires des pêcheries ont pour tâche de maximiser le rendement à long terme de même que la rentabilité économique des stocks de poissons, tout en protégeant ces derniers de la surexploitation. Bien que le rendement soutenu à long terme du stock d'aiglefins de 4X ait été estimé à 25 000 tonnes annuellement, les prises n'ont atteint en moyenne que 20 000 tonnes (fig. 1; O'Boyle *et al.*, 1989). Elles ont atteint 30 000 tonnes une fois à la fin des années 1960 et une autre fois en 1981; elles sont cependant descendues à 13 000 tonnes en 1973 et, depuis le record de 1981, elles n'ont cessé de descendre jusqu'à un minimum de 6 700 tonnes en 1989.

L'exploitation de l'aiglefin a été trop intensive au cours des dernières années, de sorte que la mortalité due à la pêche est estimée à au moins quatre fois le niveau visé. Le fait que, d'année en année, les prises débarquées comportent de moins en moins de classes d'âges (O'Boyle *et al.*, 1989) constitue une preuve manifeste de cette surexploitation. En 1982, les prises comportaient cinq groupes d'âges constituant chacun plus de 10% du rendement total. Au cours des deux années suivantes, il n'y avait plus que quatre groupes d'âges prédominants et en 1988, plus que deux.

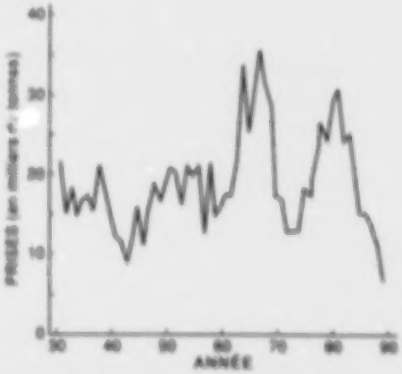


Fig. 1 Tendances à long terme dans les prises débarquées de l'aiglefin de 4X.

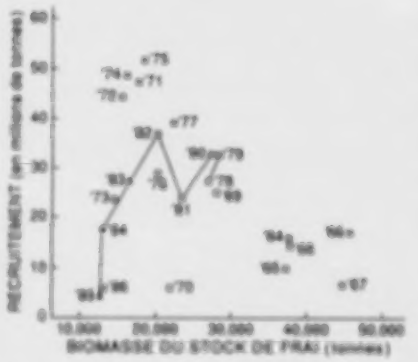


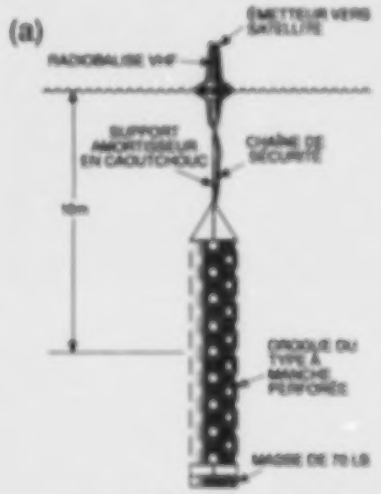
Fig. 2 Rapport entre la biomasse du stock de frai et le recrutement (poissons d'un an) du stock d'aiglefins de 4X, 1964-1986.

La taille des stocks atteint actuellement un plancher record.

Le recrutement ou l'importance de la classe d'âge (nombre de sujets ayant survécu jusqu'à l'âge d'un an) du stock d'aiglefins de 4X a varié considérablement au cours des années, soit d'un facteur de 12 depuis 1964 (fig. 2; O'Boyle *et al.*, 1989). En regard de la moyenne à long terme de 24 millions de poissons, le recrutement était faible à la fin des années 1960, fort au milieu des années 1970 et moyen au début des années 1980. On a connu à partir de 1984 une série de mauvaises années pour ce qui est des classes d'âges, le recrutement atteignant en 1985 son niveau le plus bas en 30 ans. Contrairement à ce qui se produit pour d'autres espèces, il semble n'y avoir aucun rapport entre la taille du stock et le recrutement pour ce stock d'aiglefins, ce qui laisse supposer que d'autres facteurs (l'environnement, par exemple) viennent

s'ajouter ou se substituer à la taille du stock pour déterminer le recrutement.

Compte tenu de l'importance économique et du dynamisme des stocks de poissons de fond au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, les scientifiques de la Scotia-Fundy ont entrepris une étude détaillée de l'écologie de l'aiglefin de 4X de la division OPANO. Cette étude multidisciplinaire, appelée Programme écologique des pêcheries (PEP), a nécessité le concours de chercheurs de plusieurs universités et de laboratoires gouvernementaux, avec des spécialistes de disciplines très diverses. Outre les aspects biologiques de toutes les étapes de vie de l'aiglefin ainsi que de la dynamique des pêcheries, les chercheurs se sont penchés sur l'océanographie physique, ainsi que sur les niveaux trophiques primaires et secondaires de la région.



RADIOBALISE DÉRIVANTE À DROGUE, SUIVIE PAR SATELLITE

Dans le but d'améliorer la gestion du stock d'aiglefins de 4X, les recherches ont été axées sur les trois questions fondamentales suivantes : *jusqu'à quel point ce stock est-il autonome? quels sont les facteurs qui rendent le recrutement si variable?* et quels sont ceux qui influent sur la répartition et les taux de croissance du stock? *Le programme PEP a eu* comme conséquences d'améliorer de façon notable notre connaissance de l'aiglefin de 4X. *Le présent rapport résume quelques-unes des* plus importantes conclusions du programme et présente des suggestions susceptibles d'aider à améliorer la gestion de la pêche de cette espèce.

Environnement physique

De nombreux facteurs déterminent l'ampleur du recrutement de l'aiglefin de 4X dépendent de la circulation océanique, qui transporte les œufs en suspension et les larves de l'espèce. On ignorait notamment jusqu'à quel point le courant giratoire horaire permanent à l'extrémité du bonnet occidental du banc Browns (Smith, 1983) retenait les œufs et les larves malgré l'action des vents et les marées. Afin de mieux comprendre les phénomènes de circulation et de dispersion des eaux de surface sur le banc, un programme d'océanographie physique sur le terrain a été mené dans le cadre du PEP, d'avril 1983 à mai 1985. Ce programme comportait l'utilisation d'un réseau de courantomètres ancrés, et incluait des relevés hydrographiques saisonniers ainsi que des études de dispersion, menées au moyen de radiobornes dérivantes dont les signaux étaient recueillis par satellite. L'un des principaux objectifs justifiant le recueil de toutes ces données consistait à définir des échelles de temps touchant la circulation et le flux des particules dans ce système dynamique, caractérisé par des courants variables de 3 à 10 fois plus importants que l'écoulement moyen.

Des groupes de 5 ou 6 bouées de repérage (fig. 3a) ont permis de mesurer les courants de surface et la dispersion des particules; ces bouées étant immergées à une profondeur de

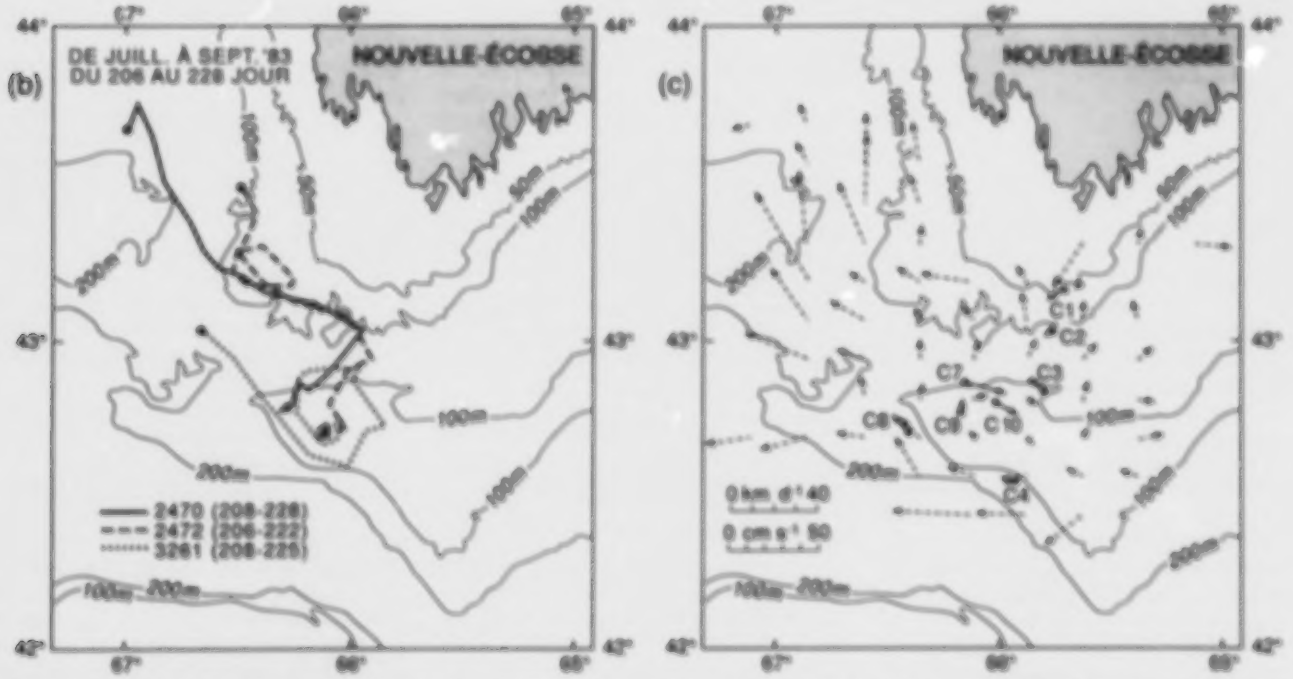


Fig. 3 (a) Schéma de la trajectoire d'une radiobalise dérivante (à drogue du type à manche perforée et immergée à 10 mètres) à signal relayé par satellite. (b) Trajectoires générales de certaines bouées au cours des mois de juillet et d'août 1983. Les triangles et les cercles pleins marquent le départ et l'échouement de chaque bouée. (c) Vitesses moyennes des courants superficiels de dérive représentées par les flèches en pointillés, au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Ces flèches ont été tracées à partir du centre d'aires quadrillées (non représentées sur la carte) mesurant en moyenne 1/8 sur 1/4 de degré. Les mesures de dérive des courants ont été prises à 10 m de profondeur, pendant toutes les saisons. Les flèches à trait continu représentent les courants moyens près de la surface, indiqués par les courantomètres ancrés, de C1 à C10 (C5 et C6 sont à l'extérieur de la carte).

10 m et ayant été mouillées à des intervalles allant de 5 à 20 km. Le système de communication par satellite ARGOS (Smith, 1989a) a par la suite permis de connaître la position simultanée de toutes ces bouées avec une précision relative de ±200 m. Les trajectoires de dérive des bouées à partir des points de mouillage (fig. 3b) révèlent que les particules de la couche superficielle ont tendance à sortir du banc par le flanc nord-ouest de celui-ci, ce flanc constituant une limite du courant giratoire du bonnet occidental. Dans certains cas, un vent soutenu semble avoir aidé à chasser les bouées dérivantes hors du courant giratoire, bien que même en l'absence de vent, des bouées s'échappent régulièrement de ce courant vers le nord du bonnet occidental. Un résumé des courants superficiels de Lagrange (dérive des particules), fondé sur les moyennes de toutes les mesures de dérive tout au long de l'année (fig. 3c), tient compte à la fois du courant giratoire du bonnet occidental et du fort écoulement tangentiel le long du flanc nord du banc. Ces courants offrent un contraste frappant avec ceux que révèlent les courantomètres. Ces derniers, immergés à 15 m, font également état du courant giratoire, mais ne donnent aucune indication quant au débit tangentiel vers le nord. Cette différence importante entre les deux résultats n'est pas étrangère à la nature chaotique (turbulente) ainsi qu'aux importants gradients spatiaux de la circulation d'arrière-plan. Elle démontre en outre à quel point les trajectoires de dérive de ce milieu sont difficilement mesurables à partir de capteurs fixes.

Les estimations les plus fiables des durées de séjour des particules dérivantes dans les eaux superficielles du banc (Smith, 1989a) proviennent des statistiques obtenues à partir de mouillages répétés. Pour un total de 10 mouillages sur le bonnet occidental de juillet à septembre 1983, le temps moyen de séjour (c'est-à-dire le temps de séjour à l'intérieur du banc ou à moins de 15 km de son périmètre à 100 m de profondeur) est de 14 jours. Au plus fort de la saison de frai de l'aiglefin (de mars à mai), cette moyenne a été quelque peu réduite à cause d'un accroissement des variations de courant, causé par le vent. Les échelles de temps de dispersion sont comparables aux échelles de temps biologiques portant sur le stade de croissance des oeufs (c'est-à-dire environ 14 jours du frai à l'éclosion), de sorte que le déplacement en-dehors du banc pourrait avoir un effet direct sur la survie des individus. Les tentatives de simulation visant à reconstituer la trajectoire des particules dans la couche superficielle, grâce à un modèle numérique des vents et des marées, n'ont jusqu'à présent connu qu'un succès limité, bien qu'elles aient apporté de précieux renseignements sur les processus physiques influant sur le phénomène de la dérive (Page et Smith, 1989).

La variabilité interannuelle des conditions hydrographiques au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse peut également avoir une influence déterminante sur l'ampleur du recrutement de l'aiglefin de 4X, compte tenu de l'effet de ces conditions sur les divers facteurs biologiques, notamment la disponibilité de nourriture, le moment du cycle de frai et les taux de croissance. Pour tenir compte des variations interannuelles, on a analysé les données moyennes mensuelles des courantomètres ancrés en deux endroits (C1 et C2; fig. 3c). Parmi les séries chronologiques pendant lesquelles ces mesures ont eu lieu, les plus longues (de 1978 à 1985 en C2) se sont avérées les meilleures indicatrices du moment et de l'importance de la poussée annuelle des eaux de surface à faible salinité dans le golfe Saint-Laurent (Smith, 1983); ces séries chronologiques sont également représentatives aux faibles fréquences de variations des courants, des données d'archives pour le banc Browns et pour la zone côtière au large de Cap Sable (Smith, 1989b). Afin de compléter les données obtenues à l'aide des courantomètres ancrés, on a également observé et analysé les séries chronologiques d'autres variables environnementales (notamment les vents locaux, la température ambiante et l'écoulement du golfe Saint-Laurent). Il a été établi que les valeurs annuelles importantes de température, de salinité et de courant côtier du site C2 n'étaient pas étrangères au mouvement saisonnier déclenché par l'écoulement maximal du golfe Saint-Laurent en mai, tandis qu'au contraire, le cycle annuel de température dépend largement des conditions atmosphériques à la surface de la mer, conditions qui produisent une diffusion verticale vers le bas dans la colonne d'eau.

La portion côtière de la force d'entraînement du vent (définie comme positive dans le sens est nord-est) semble influer sur la variabilité interannuelle de la circulation et des

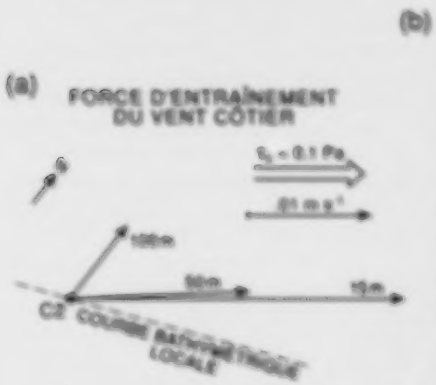
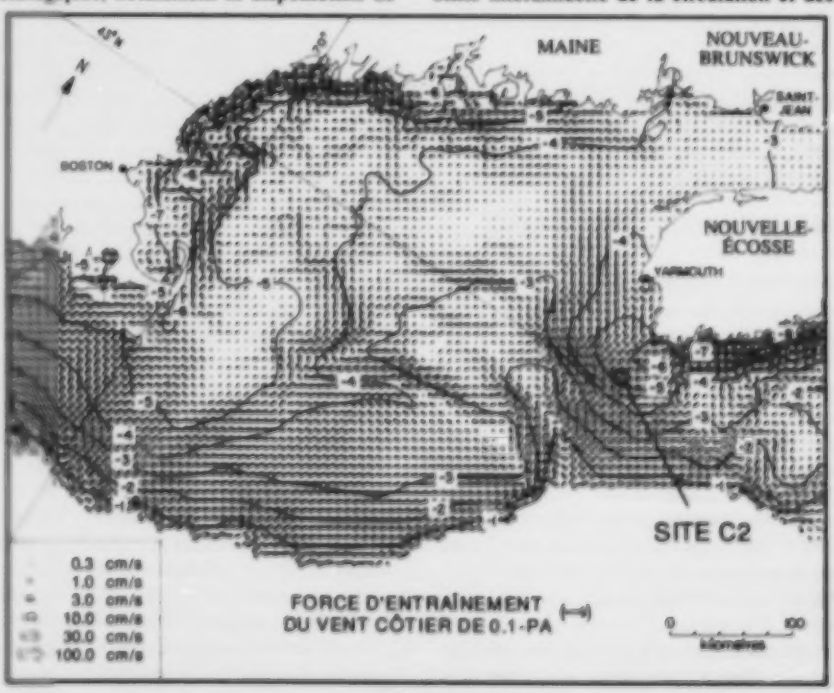


Fig. 4 (a) Réaction du courant à une force d'entraînement du vent côtier de 0.1 Pa à Yarmouth, Nouvelle-Écosse, établie à partir de corrélations significatives entre les anomalies interannuelles des cycles annuels (Smith, 1989b). (b) Réaction de la circulation dans le golfe du Maine (profondeur normalisée), à une force d'entraînement du vent côtier de 0.1 Pa, d'après un modèle numérique linéaire (Wright, 1986).



propriétés de la masse d'eau, bien que cette influence ne s'exerce pas selon un mode saisonnier. D'importantes corrélations entre les anomalies de la force d'entraînement du vent côtier et des courants du site C2 par rapport à leurs cycles annuels révèlent une résurgence marine produite par le vent côtier, laquelle se caractérise par un écoulement le long des courbes bathymétriques, à la partie supérieure de la colonne d'eau, ainsi que par un courant d'afflux côtier à proximité du fond (fig. 4a). Ces résultats sont conformes à ceux d'un modèle informatique avec vent constant (fig. 4b), selon lequel un même vent côtier pousse un débit rentrant d'eau salée du large dans le golfe du Maine, par le canal nord-est, puis vers l'est, autour de l'extrémité occidentale du banc Browns puis sur le plateau néo-écossais. La circulation engendrée par les anomalies positives de la force d'entraînement du vent côtier à l'automne de 1979, combinée à la présence du tourbillon à noyau chaud du Gulf Stream au large, ont produit les conditions de chaleur et de salinité de l'eau les plus élevées au large de la Nouvelle-Écosse au cours de la série chronologique de sept ans du site C2. De la même manière, lors de l'expérience sur le terrain du programme PEP, les anomalies légèrement positives de la force d'entraînement du vent côtier dans la période comprise entre mars et mai 1985 contrastaient avec les anomalies fortement négatives relevées en 1983 et 1984. Ces anomalies ont eu comme résultat net de réduire le transport à partir du plateau néo-écossais dans la région ei, en conséquence, d'augmenter la température et la salinité de l'eau lors de la saison de frai de l'aiglefin en 1985. En outre, les anomalies de la force d'entraînement du vent s'étant produites à des moments différents en 1983 et en 1984, il s'en est suivi d'importantes variations interannuelles dans les facteurs physiques de ces deux années.

Niveaux trophiques primaires et secondaires

La variation interannuelle du moment et des caractéristiques de la prolifération phytoplanctonique printanière ont également fait l'objet d'études dans le cadre du PEP, en ce qui a trait à l'influence éventuelle de ces facteurs sur la survie des larves d'aiglefins. Les vents anormaux du printemps de 1985 ont été responsables d'un accroissement des températures, de la salinité et des nutriments, plus particulièrement des nitrates (Koslow *et al.*, 1989). Cette année fut également marquée par un rayonnement solaire plus important vers la fin de l'hiver et au printemps qu'en 1983 ou en 1984. Ces facteurs, conjugués avec une certaine réduction de la biomasse de zooplancton au début du printemps, ont donné lieu,

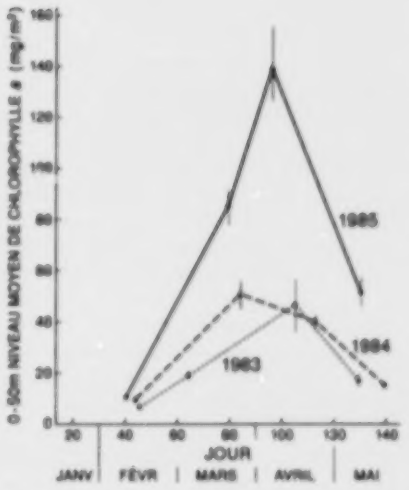


Fig. 5 Étude des concentrations moyennes de chlorophylle-a (intégration à 50 m). Les barres d'erreur représentent un écart standard de 1 par rapport à la moyenne.

pendant la période de février à mai 1985, à une augmentation de la biomasse de chlorophylle plus importante qu'au cours de la période correspondante des autres années d'application du programme PEP, comprises entre 1983 et 1985. (fig. 5; Perry *et al.*, 1989).

Les observations faites dans le cadre de cette étude ont révélé que la prolifération printanière avait eu lieu vers la fin de mars ou au début d'avril au cours des trois années visées par le programme d'étude PEP. Cependant, les tentatives visant à prévoir les conditions donnant lieu à la prolifération, à partir des seules données de l'étude, se sont soldées par un échec. De façon générale, le déclenchement de la prolifération printanière est fortement influencé par l'épaisseur de la couche superficielle de mélange et par la profondeur critique (celle à laquelle la production primaire et la respiration dans la colonne d'eau sont en équilibre). Lorsque la profondeur critique va au-delà de la couche de mélange, la prolifération peut se produire. Les relevés faits à la profondeur critique et à la profondeur de la couche de mélange ont indiqué que les proliférations n'auraient pu avoir lieu avant mai, soit au moins un mois après qu'elles se sont effectivement produites. Pour tenter de comprendre ce paradoxe, on a élaboré des modèles de l'épaisseur de la couche superficielle de mélange et de la profondeur critique, grâce à des données océanographiques et météorologiques, y compris le rayonnement solaire, les vents, les marées et les flux de poussée hydrostatique (eau douce) (Perry *et al.*, 1989). Conformément à ces relevés, le modèle a permis d'établir que la prolifération devrait avoir lieu à peu près à la même date chaque année. Toutefois, un certain nombre d'épisodes transitoires de stratification avaient également été prévus pour le début de février et pour mars 1985. Ces phénomènes semblent avoir été d'une durée et d'une intensité suffisantes pour donner lieu à de courtes périodes d'accroissement de la production de phytoplancton, ce qui aurait produit une biomasse de phytoplancton hivernante plus importante en 1985 qu'en 1983 ou en 1984 (fig. 6). Lors de la prolifération printanière majeure de 1985, cette masse de phytoplancton plus considérable (à laquelle s'ajoutaient des concentrations plus élevées de nutriments) a produit la plus importante biomasse observée de cette série (fig. 5).

Les résultats du modèle informatique de la prolifération printanière suggèrent que les phénomènes transitoires de stratification qui se sont manifestés en hiver et au début du printemps sont importants en ce qui a trait au déclenchement et aux caractéristiques de la prolifération printanière. Il est cependant difficile de déterminer de façon précise le début de cette prolifération. Ainsi, cette dernière commence-t-elle par une série de phénomènes transitoires de courte durée, ou au contraire par un phénomène unique se produisant à la fin de mars? Les résultats du modèle démontrent par ailleurs la nécessité d'un prélèvement intensif d'échantillons sur de courtes périodes, afin de bien pouvoir observer ces processus.

Les résultats du modèle informatique, aussi bien que les observations, indiquent que la prolifération printanière de phytoplancton se produit plus tard dans les eaux côtières bien brassées et peu profondes que dans les eaux du large, ceci étant dû au fort mélange causé par les marées et empêchant la stratification (Perry *et al.*, 1989). La biomasse de chlorophylle du printemps est généralement plus importante dans les eaux profondes du large, étant donné la plus grande stratification (due à l'absence d'influence des marées sur les brassages verticaux) et les eaux riches en nutriments qui permettent de réapprovisionner les couches de

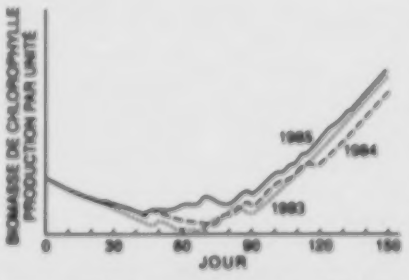


Fig. 6 Production cumulative journalière par unité de biomasse de chlorophylle, établie à partir d'un modèle de l'intensité de lumière dans la couche superficielle de mélange.

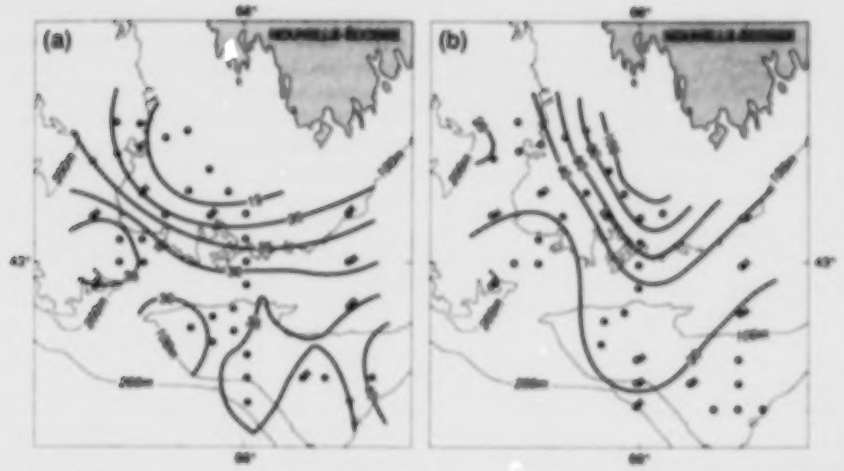


Fig. 7 Distributions (poids sec en mg par m³) (a) du zooplancton de grande taille, et (b) du microzooplancton, établies à partir de prélèvements faits au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse en mai 1985.

surface lors de l'agitation superficielle de la mer due au vent. Par contre, les mêmes zones au large ont les plus faibles concentrations de chlorophylle en hiver, à cause des couches de mélanges plus profondes; dans les eaux peu profondes, cette profondeur est limitée par le fond.

La biomasse des plus gros copépodes et d'autres parties du zooplancton ayant une taille suffisante pour servir de nourriture aux aiglefins juvéniles était également plus grande dans les eaux profondes et plus faible dans les eaux côtières bien brassées (fig. 7a; Frank, 1988). Par contre, la distribution spatiale du microzooplancton, qui constitue la principale nourriture des larves d'aiglefin à leur premier stade de développement, était inversement proportionnelle à la distribution du zooplancton de plus grande taille (fig. 7b). En outre, alors que l'ensemble de la biomasse de zooplancton à la fin de l'hiver et au début du printemps était moins importante en 1985 qu'elle ne l'avait été en 1983 et 1984, les niveaux atteints à la fin du printemps étaient plus élevés qu'en n'importe quel moment de ces deux années. Cette augmentation accrue coïncidait avec une diminution marquée de la chlorophylle, de sorte que le mois de juin a été le seul au cours duquel la biomasse de chlorophylle n'a pas atteint un niveau record en 1985.

Il apparaît donc qu'au cours de l'hiver et au début du printemps, la biomasse de phytoplancton au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse était accrue en 1985, compte tenu des périodes transitoires de stratification et des concentrations plus élevées de nutriments. Cet accroissement a été suivi par le niveau le plus élevé de la biomasse de zooplancton pour toute la période de l'étude, en mai et en juin 1985, le zooplancton tirant apparemment profit de l'abondance du phytoplancton.

Premiers stades de l'ontogenèse

Bien que le banc Browns soit depuis longtemps reconnu comme frayère à aiglefin, nous en connaissons fort peu sur les différences interannuelles touchant le temps et le lieu du frai, ou encore sur la distribution et la survie de la progéniture. En outre, les impacts de facteurs physiques dont on sait qu'ils contribuent aux importantes variations, d'une année à l'autre, du taux de survie (classe d'âge) de la plupart des stocks de poissons, n'ont pas fait l'objet d'une évaluation précise en ce qui a trait à l'aiglefin au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. C'est cette information, d'importance critique pour la prédiction des prises, que vise principalement la recherche du PEP.

Le banc Browns est également une frayère à morue, espèce très rapprochée de l'aiglefin et dont le frai est légèrement plus hâtif. Ce dernier facteur a facilité le travail du PEP en lui permettant de comparer les deux espèces et de déterminer si ces dernières réagissaient de la même façon à un facteur environnemental donné.

Le PEP a produit certains résultats surprenant en ce qui a trait à la survie de l'aiglefin et de la morue. On s'attendait évidemment à ce que le milieu ambiant influence la distribution, la croissance et la mortalité des deux espèces; ce qui a surpris, c'est la manière dont ces facteurs ont agi. Le courant giratoire avec «fuite» autour du banc de Browns s'est avéré être l'élément déterminant de cette influence (Smith, 1989a). On soupçonnait au départ ce courant giratoire de retenir les oeufs et les larves dans le banc, lieu présumé de production accrue et d'abondance de nourriture. En fait, l'action hautement dispersante du courant giratoire produit les effets opposés de dérive et de rétention des oeufs et des larves, répartissant ainsi sur de grandes distances chacun des stades de l'ontogenèse en des populations côtières et du large (fig. 8) (Campana *et al.*, 1989a); Hurley et Campana, 1989; Suthers et Frank, 1989). Des différences de croissance (et présumément de survie) entre chacune de ces zones sont attendues, compte tenu de la variation observée des facteurs physiques et biologiques (fig. 7). Une étude effectuée en mai 1985 a effectivement démontré que le poids des jeunes larves d'aiglefin d'une longueur donnée était de 40 p. 100 inférieur dans le banc qu'à l'extérieur de celui-ci. En outre, le taux de développement des oeufs aussi bien que celui de la croissance des larves ont fortement subi l'influence de la température (Campana et Hurley, 1989; Page et Frank, 1989), laquelle avait tendance à être plus élevée au large que près des côtes. On a pu également associer de façon générale les eaux stratifiées avec les larves en bon état (Frank et McRuer, 1989), ce qui a donné lieu à des disparités régionales qui ont apparemment

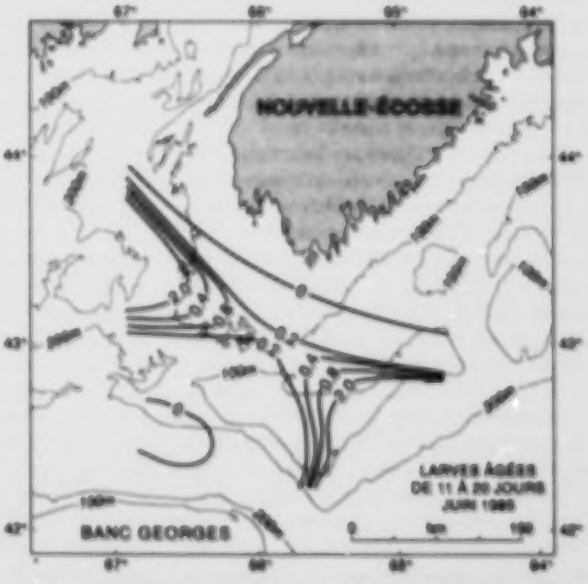


Fig. 8 Courbes de l'abondance de larves d'aiglefin en juin 1985 – larves âgées de 11 à 20 jours.

persisté jusqu'au stade juvénile pélagique (Suthers *et al.*, 1989). La stratification a également exercé une influence sur la distribution verticale des oeufs et des larves, puisque les oeufs en croissance tendent à descendre jusqu'à une profondeur de poussée hydrostatique neutre; le degré d'agrégation est déterminé par le gradient de stratification (Frank *et al.*, 1989; Page *et al.*, 1989). Les oeufs transportés dans les eaux à faible densité près de la côte sont probablement morts après s'être déposés au fond (Frank *et al.*, 1989).

L'autre élément inattendu qui s'est dégagé des analyses du PEP a trait à l'effet du moment du déclenchement du processus (du frai) sur la croissance et la survie. Les deux espèces, aiglefin et morue, ont démontré une régularité d'une année à l'autre quant à leur date respective de frai (Campana *et al.*, 1989b; Hurley et Campana, 1989), sans que la température n'y ait apparemment exercé d'influence (Page et Frank, 1989). Toutefois, les différences interannuelles de température semblent avoir produit des écarts importants dans l'occurrence des périodes de pointe de la production de l'ichthyoplancton, par l'influence de la température sur la croissance et la survie.

Ainsi, la température relativement froide de l'eau en mars et avril 1984 a retardé le développement et l'éclosion des oeufs d'aiglefins jusqu'à la fin de mai, alors qu'un réchauffement rapide a exposé les larves à une chaleur inhabituelle. Cette discontinuité des facteurs physiques dans une journée ou une saison donnée n'est pas rare et elle reflète les niveaux élevés de la variabilité intra-annuelle dans les masses d'eau au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Elle révèle également que les désignations «chaude» ou «froide» appliquées aux températures moyennes annuelles constituent des indications trop grossières pour être d'une quelconque utilité dans les études des premiers stages de l'ontogenèse.

Les larves d'aiglefin se transforment en juvéniles lorsqu'elles prennent l'apparence du poisson adulte; cette métamorphose se produit environ trois mois après l'éclosion. Pendant un certain temps appelé état pélagique, les juvéniles continuent de se nourrir de zooplancton dans toute la colonne d'eau. Ils descendent ensuite vers le fond pour adopter un mode de vie démersal, se nourrissant principalement d'invertébrés benthiques. Des prélèvements menés en 1983 (fig. 9) au moyen de chaluts pélagiques et de fond ont démontré que la descente des aiglefins juvéniles vers le fond avait lieu pendant un temps relativement court, soit de juillet à août (Koeller *et al.*, 1986). Les différences interannuelles quant à la date de descente et à la distribution horizontale marquée des aiglefins juvéniles ont d'importantes incidences sur le développement des

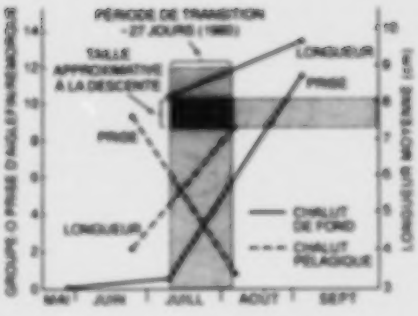


Fig. 9 Moment de la transition et taille de l'aiglefin juvénile lors du passage de l'habitat pélagique à l'habitat démersal, établis d'après une série de prélèvements pélagiques et de fond, effectués en 1983 au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse.

spécimens prélevés pour évaluer le recrutement. Ces résultats démontrent également que le moment et l'aire géographique d'une telle étude déterminent la valeur des prévisions qu'elle permet d'établir. Ainsi, avec une aire d'étude trop restreinte, il y a risque de passer à côté d'une partie de la population, alors qu'une aire trop grande réduit le taux d'échantillonnage en-dessous du niveau optimal. Si le moment du prélèvement au moyen d'un chalut pélagique ou de fond n'est pas judicieusement choisi, les résultats peuvent être faussés par le fait que les sous-populations de juvéniles ne descendent pas toutes au même moment de la zone pélagique à la zone démersale.

Avant la mise en oeuvre du PEP, il est probable que les stades juvéniles pélagiques de l'aiglefin et de la morue étaient moins bien compris. L'information obtenue grâce à cette étude permettra d'augmenter de façon considérable la précision des prélèvements visant à prédire le recrutement.

Biologie de l'aiglefin adulte

La distribution de l'aiglefin aux premiers stages de l'ontogenèse était présumée avoir un effet important pour les stades ultérieurs de la vie des individus. Pour cette raison, les deux questions suivantes ont été soulevées pendant le déroulement du PEP : 1) la dualité des distributions spatiales observée dans les premiers stades de l'ontogenèse se maintient-elle dans les stades ultérieurs? 2) les différences de croissance observées pendant la période larvaire sont-elles persistantes?

Les études saisonnières sur les poissons de fond ont apporté des réponses à la première question. Les jeunes aiglefins séparés en population côtière et en population hauturière durant leur première année d'existence sont demeurés séparés à longueur d'année durant la plus grande partie de leur vie préadulte (environ quatre ans) (fig. 10). Les groupes d'âge comportant des individus à leur pleine maturité n'ont manifesté aucun signe de ségrégation, mais on a pu observer un déplacement saisonnier important de leur distribution, à partir du banc à la fin de l'hiver et au début du printemps, vers l'embouchure de la baie de Fundy, à la fin du printemps et au début de l'été. Les géniteurs ont démontré une préférence pour les zones plus froides et les marges étroites de température (de 1 à 5°C), par rapport aux poissons parvenus à d'autres stades de maturité; ces observations ont le plus souvent été faites dans des endroits avec un substrat particulier de sable et de gravier (Waiwood et Buzeta, 1989). Une fois combinées, ces particularités physiques peuvent servir à diriger et à réunifier le stock au moment du frai.

La réponse à la seconde question a été obtenue à partir de données recueillies dans le cadre de la pêche commerciale. Le poids moyen des poissons âgés de 2 à 8 ans a été évalué par des prélèvements exécutés par une flottille de dragueurs (de pêche) dans toute la division NAFO 4X, de janvier à mars, de 1983 à 1985. Le poids des poissons de chacun des six groupes d'âge était sans exception plus élevé pour ceux capturés à l'embouchure de la baie de Fundy que pour ceux qui ont été pris au large du plateau (fig. 11; O'Boyle, données non publiées). L'importance de cette différence de poids diminuait avec l'âge, pour atteindre en moyenne 46 p. 100 dans le cas des poissons de 2 ans, jusqu'à 14 p. 100 pour les poissons de 8 ans. Les différences de poids d'une zone à l'autre ont également été constatées à l'examen des données des prélèvements du poisson de fond d'été. Ces résultats suggèrent fortement que les différences de croissance observées durant la période larvaire persistent bien au-delà dans la vie des individus. Est-il possible que ces différences de croissance soient reliées aux conditions d'alimentation dans les deux zones considérées? On sait que l'aiglefin se nourrit au fond et que son régime se compose d'une macrofaune d'invertébrés variés. Il est intéressant de constater que la production de macrofaune benthique dans le banc Browns a atteint un poids moyen humide de 64 g par m^2/année, par rapport à 193 g par m^2/année dans la baie de Fundy (Wildish *et al.*, 1989). Il est donc tout à fait possible que la productivité benthique annuelle trois fois plus élevée dans la baie de Fundy ait contribué aux différences de croissance constatées dans les classes d'âge plus élevées de l'aiglefin. Il semble bien exister des différences régionales très réelles dans le potentiel de croissance de l'aiglefin de la zone 4X et tout porte à croire que l'influence des variations des conditions du milieu ambiant pendant la période de reproduction détermine

les caractéristiques de distribution, de croissance et de rendement de ce stock.

Synthèse

La synthèse des données du PEP touchant les premiers stages de l'ontogenèse, présentée graphiquement sous la forme de courbes de survie, met en évidence les fluctuations massives de l'abondance d'aiglefins et de morues, qui se produisent dans la première année de vie des individus (fig. 12; Campana *et al.*, 1989b). Bien que cette abondance ait décliné de 5 à 7 ordres de magnitude dans les 200 premiers jours de vie des deux espèces pour chaque année, les effectifs des classes d'âge pour les individus d'un an ont connu une variation en-deçà d'un facteur de 6 pour chaque espèce. Il n'y a aucune corrélation apparente entre l'abondance des oeufs ou des larves et l'effectif de la classe d'âge, ce qui suggère qu'aucun de ces facteurs n'est utile pour prédire le recrutement de ces stocks. On a toutefois établi une corrélation entre l'abondance des juvéniles des zones pélagique et démersale et l'effectif de classe d'âge. On est arrivé aux mêmes conclusions en ce qui a trait au taux de mortalité (fig. 13); cependant, une corrélation inverse a été établie entre la mortalité survenant entre les stades larvaire et juvénile, et l'effectif de classe d'âge. Il n'a malheureusement pas été possible d'établir les principales causes de mortalité.

Le fait de substituer l'identification du stade juvénile à l'effectif de la classe d'âge peut s'avérer utile aux gestionnaires des pêcheries pour établir leurs prévisions, sous réserve qu'une méthodologie d'étude convenable puisse d'abord être définie et mise en oeuvre. Les résultats des études sur les juvéniles ont démontré la nature critique du moment et de l'aire géographique de ces études.

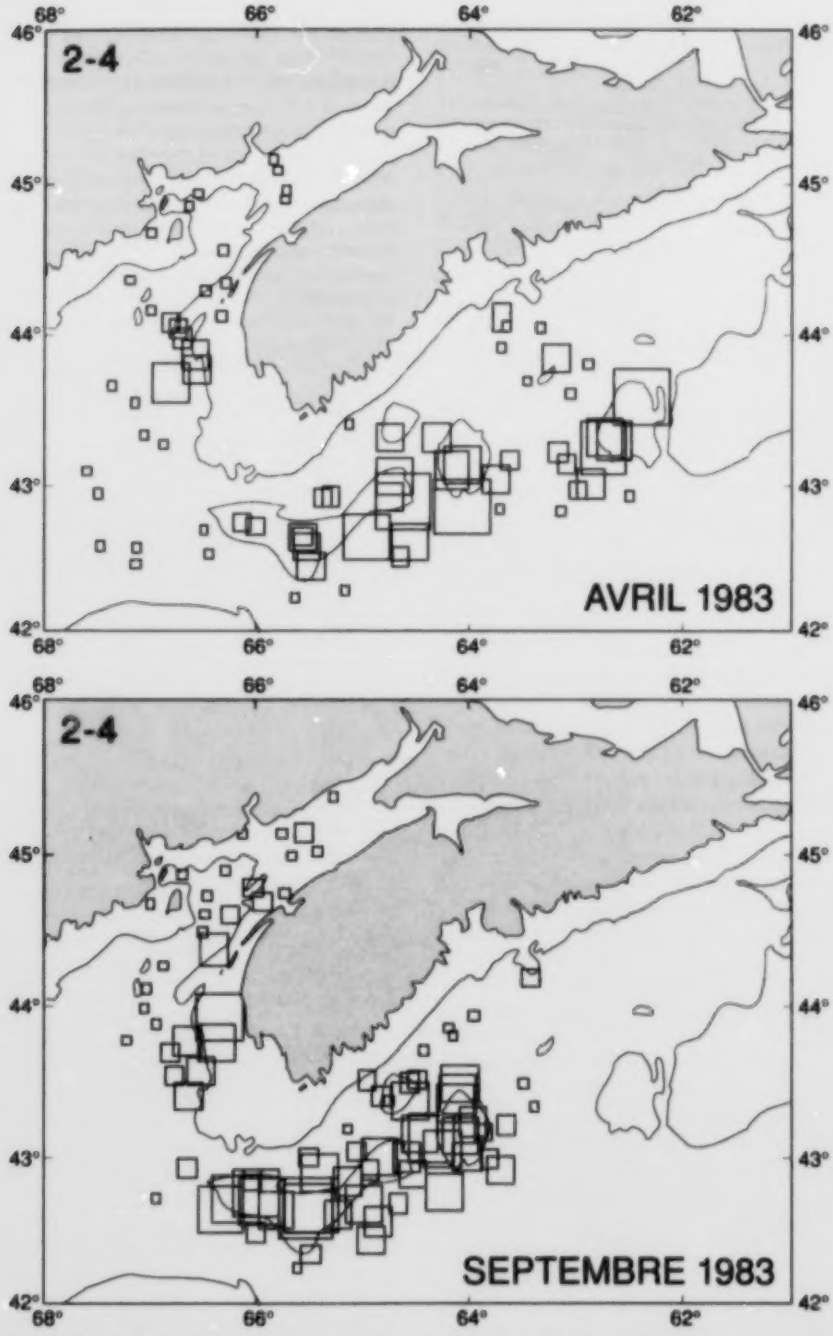


Fig. 10 Distribution des aiglefins âgés de 2 à 4 ans, établie à partir de prélèvements au moyen de chaluts de fond, exécutés d'avril à septembre 1983. L'aire de chaque carré est proportionnelle à l'abondance.

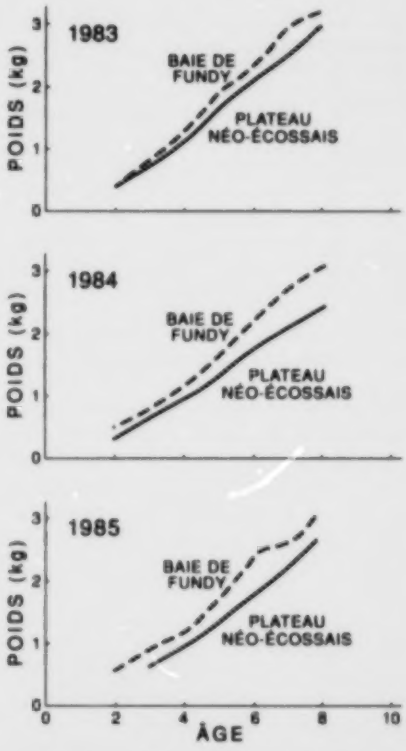


Fig. 11 Poids selon l'âge des aiglefins pris au large (ligne continue) et dans la baie de Fundy (ligne pointillée) dans la division NAFO 4X, de 1983 à 1985.

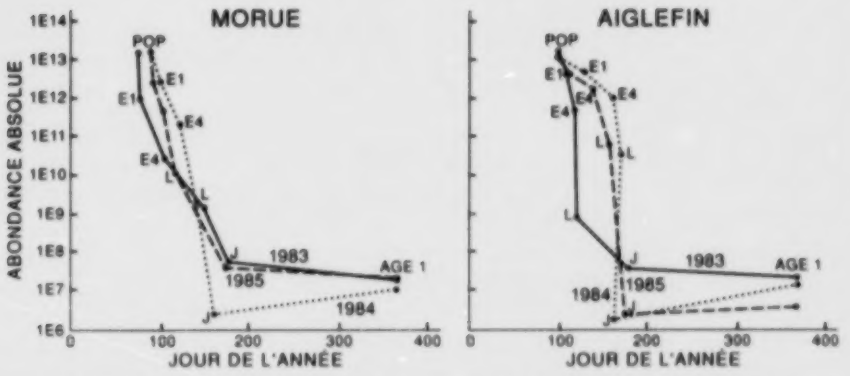


Fig. 12 Courbes de survie pour chacune des trois cohortes (1983-85) de morue et d'aiglefin au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Les estimations d'abondance annuelles absolues (échelle logarithmique) pour chaque échantillonnage des stades de l'ontogenèse ont été calculées en fonction de la date moyenne pondérée correspondante d'occurrence. POP = production d'oeufs de la population; E1 = oeufs du premier stade; E4 = oeufs du dernier stade; L = larves; J = juvéniles pélagiques; AGE 1 = fin de la première année de vie, d'après l'analyse des cohortes.

Une comparaison de l'importance relative des effectifs des classes d'âges d'aiglefins et de morues a démontré que l'exposition aux mêmes effets à grande échelle au cours d'une année donnée n'entraînait pas un recrutement aussi fructueux pour l'une et l'autre de ces espèces; en dépit de similitudes touchant l'emplacement du frai et la distribution des individus au premier stade de vie, les succès respectifs du recrutement pour l'aiglefin et la morue comportaient des différences en 1984 et divergeaient totalement en 1985. On peut donc en conclure que le moment des phénomènes biologiques et physiques locaux a joué un rôle important, dépassant celui des événements climatiques à grande échelle, dans le succès du recrutement de ces stocks. Bien que le PEP n'ait pas permis d'isoler tous les facteurs déterminant le succès du recrutement de la morue et de l'aiglefin de 4X, des progrès significatifs ont été accomplis dans la compréhension de ces processus complexes, et on a délimité de nouveaux domaines d'études prometteurs. Une meilleure compréhension des mouvements des poissons au stade de la maturité ou du frai, ainsi que de l'emplacement et du moment du frai et de la distribution des juvéniles aura des conséquences bénéfiques sur la gestion des pêcheries. Cette information aidera à la délimitation des zones pouvant être interdites à la pêche durant une certaine partie de l'année, de manière à protéger temporairement les poissons en frai et les juvéniles. La connaissance de ce qui semble être deux aires distinctes ayant des potentiels de production différents peut influer sur la stratégie à long terme de l'exploitation de la ressource. De nombreux faits relatifs à la biologie des aiglefins et des morues adultes ont déjà été intégrés dans les méthodes annuelles d'évaluation, lesquelles constituent la base de l'établissement des quotas (prises totales admissibles) pour ces stocks.

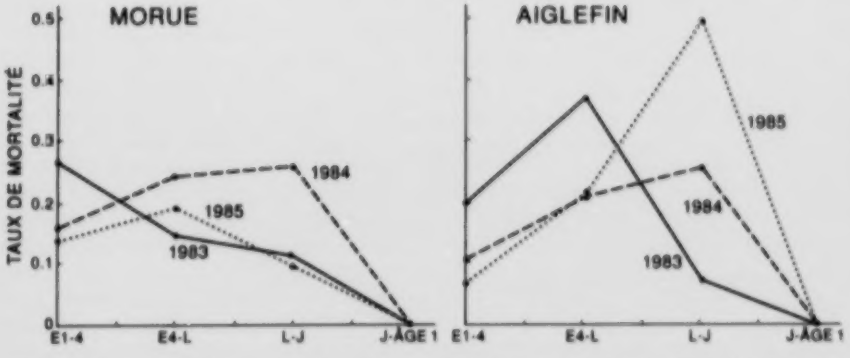


Fig. 13 Taux quotidiens de mortalité pour les stades d'ontogenèse de chacune des trois cohortes de morues et d'aiglefins (même symboles que pour la figure 12). Les intervalles de temps pour le calcul de la mortalité sont basés sur les durées prévues des stades de vie.

Références bibliographiques

CAMPANA, S.E., et P.C.F. HURLEY. 1989. An age- and temperature-mediated growth model for cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) larvae in the Gulf of Maine. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46:603-613.

CAMPANA, S.E., S.J. SMITH, et P.C.F. HURLEY. 1989a. A drift-retention dichotomy for larval haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) spawned on Browns Bank. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46 (Suppl. 1):93-102.

CAMPANA, S.E., K.T. FRANK, P.C.F. HURLEY, P.A. KOELLER, F.H. PAGE, et P.C. SMITH. 1989b. Survival and abundance of young cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) as indicators of yearclass strength. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46 (Suppl. 1):171-182.

FRANK, K.T. 1988. Independent distributions of fish larvae and their prey: natural paradox or sampling artifact? Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 45:48-59.

FRANK, K.T., et J.K. McRUER. 1989. Nutritional status of field-collected haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) larvae from southwestern Nova Scotia: an assessment based on morphometric and vertical distribution data. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46 (Suppl. 1):125-133.

FRANK, K.T., F.H. PAGE, et J.K. McRUER. 1989. Hydrographic effects on the vertical distribution of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) eggs and larvae on the southwestern Scotian Shelf. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46 (Suppl. 1):82-92.

HURLEY, P.C.F., et S.E. CAMPANA. 1989. Distribution and abundance of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) and Atlantic cod (*Gadus morhua*) eggs and larvae in the waters off southwest Nova Scotia. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46 (Suppl. 1):103-112.

KOELLER, P.A., P.C.F. HURLEY, P.PERLEY, et J.D. NEILSON. 1986. Juvenile fish surveys on the Scotian Shelf: implications for yearclass size assessments. Journal du Conseil international pour l'exploration de la mer, 43:59-76.

KOSLOW, J.A., R.I. PERRY, P.C.F. HURLEY, et R.O. FOURNIER. 1989. Structure and interannual variability of the plankton and its environment off southwest Nova Scotia in late spring and early summer. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46 (Suppl. 1):44-54.

O'BOYLE, R.N., K. FRANK, et J.SIMON. 1989. An evaluation of the population dynamics of 4X haddock during 1962-88 with yield projected to 1990. Documentation du Comité scientifique consultatif des pêches canadiennes dans l'Atlantique, 89/58.

PAGE, F.H., et K.T. FRANK. 1989. Spawning time and egg stage duration in northwest Atlantic haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) stocks with emphasis on Georges and Browns Banks. Journal

canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46 (Suppl. 1):68-81.

PAGE, F.H., et P.C. SMITH. 1989. Particle drift in the surface layer off southwest Nova Scotia: Description and evaluation of a model. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46 (Suppl. 1):21-43.

PAGE, F.H., K.T. FRANK, et K. THOMPSON. 1989. Stage dependent vertical distribution of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) in a stratified water column: observations and model. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46 (Suppl. 1):55-67.

PERRY, R.I., P.C.F. HURLEY, P.C. SMITH, J.A. KOSLOW, et R.O. FOURNIER. 1989. Modelling the initiation of spring phytoplankton blooms: a synthesis of physical and biological interannual variability off southwest Nova Scotia, 1983-85. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46 (Suppl. 1):183-1099.

SMITH, P.C. 1983. Mean and seasonal circulation off southwest Nova Scotia. J. Phys. Oceanogr. 13:1034-1054.

SMITH, P.C. 1989a. Circulation and dispersion on Browns Bank. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46:539-559.

SMITH, P.C. 1989b. Seasonal and interannual variability off southwest Nova Scotia. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46 (Suppl. 1):4-20.

SUTHERS, L.M., et K.T. FRANK. 1989. Interannual distributions of larval and pelagic juvenile cod (*Gadus morhua*) in southwestern Nova Scotia determined with two different gear types. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46:591-602.

SUTHERS, L.M., K.T. FRANK, et S.E. CAMPANA. 1989. Spatial comparison of recent growth in post-larval cod (*Gadus morhua*) off southwestern Nova Scotia: inferior growth in a presumed nursery area. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46 (Suppl. 1):113-124.

WATWOOD, K.G., et M.-I. BUZETA. 1989. The reproductive biology of southwest Scotian Shelf haddock (*Melanogrammus aeglefinus L.*). Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46 (Suppl. 1):153-170.

WILDISH, D.J., A.J. WILSON, et B.FROST. 1989. Benthic macrofaunal production of Browns Bank, Northwest Atlantic. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 46:584-590.

WRIGHT, D.G., D.A. GREENBERG, J.W. LODER, et P.C. SMITH. 1986. The steady-state barotropic response of the Gulf of Maine and adjacent regions to surface wind stress. J. Phys. Oceanogr., 16:947-966.

Le port de Halifax – comment les courants influent sur la distribution des sédiments

G. B. J. Fader et B. Petrie

G. B. J. Fader et B. Petrie

Souvent, les recherches effectuées dans les diverses disciplines des sciences marines sont réalisées de façon distincte et ce dans la même région géographique. Pourquoi? En raison du type de processus étudié. Les physiciens en océanographie physique s'intéressent généralement aux vagues, aux marées et aux tempêtes, phénomènes dont la variabilité temporelle va de la seconde aux jours. D'autre part, lorsqu'il examine la distribution et les caractéristiques des sédiments, le géologue du milieu marin peut se pencher sur des problèmes qui s'étalent sur quelques jours ou sur des centaines ou des milliers d'années. Les méthodes utilisées dans ces deux disciplines peuvent également varier. Pour mesurer les courants et le niveau de la mer, le physicien en océanographie physique installe des instruments enregistreurs dans quelques endroits particuliers pendant de longues périodes. Par contre, les relevés acoustiques de télédétection effectués une seule fois par le géologue à partir d'un navire constituent une technique très efficace pour déterminer les caractéristiques régionales des sédiments, car les données recueillies fournissent une représentation globale de tous les processus qui influent sur le fond marin. Toutefois, les deux scientifiques rapportent souvent des échantillons au laboratoire pour des études plus approfondies, de l'eau dans le cas de l'océanographe, des carottes de sédiments et des échantillons de fond, dans le cas du géologue.

À première vue, ces deux disciplines ne semblent pas avoir beaucoup à offrir l'une à l'autre, mais ce n'est pas le cas. Chacune d'elles procure un point de vue différent sur le même processus et peut jeter de la lumière sur les problèmes de l'autre. La circulation moyenne de l'eau peut conduire au transport des sédiments et à leur dépôt subséquent dans des régions où l'écoulement est très faible. Les courants très forts produits par les marées, les tempêtes ou les vagues peuvent affouiller les sédiments fins dans certains secteurs pour ne laisser que le gravier et le socle rocheux. Les dépôts de sédiments, qui reflètent les mouvements de l'eau au cours des années, peuvent révéler à l'océanographe si les relevés établis pendant de courtes périodes à l'aide des courantomètres sont représentatifs des conditions à long terme. Les données recueillies par

les scientifiques des deux disciplines dans le port de Halifax ont été rassemblées afin d'obtenir une meilleure compréhension des courants et de la distribution des sédiments.

Le port de Halifax constitue une anse où la circulation moyenne est largement connue. Les secteurs où les courants sont forts et variables ont été identifiés. En outre, il a récemment fait l'objet d'études géologiques acoustiques approfondies (Miller et Fader, 1989; Miller *et al.*, 1990) qui ont mené à la compréhension de la géologie régionale des formations superficielles et du socle rocheux. De plus, des échantillons de sédiments ont été prélevés (Buckley et Hargrave, 1989) pour fournir une référence-terrain aux données acoustiques et pour examiner les changements géochimiques que le port a subi depuis que l'homme a commencé à l'utiliser pour l'élimination des égouts, la navigation et les activités militaires.

Base de données océanographiques et géologiques

Nous avons obtenu un tableau de la circulation de l'eau dans le port grâce à des mesures prises à l'aide de courantomètres dans le bassin de Bedford (un seul emplacement), les Narrows (trois emplacements avec au moins trois instruments à différentes profondeurs à chaque emplacement) et l'avant-port (six emplacements avec deux instruments chacun). La durée d'enregistrement des données a varié entre quelques semaines et sept mois environ. Nous avons également effectué chaque mois, pendant deux ans, des mesures de la température et de la salinité le long de huit coupes transversales réparties de l'arrière-port jusqu'à l'avant-port (chacune comptant entre trois et six emplacements de mesure). Les données recueillies ont également contribué à notre compréhension de la circulation de l'eau.

Les relevés géologiques acoustiques dans l'ensemble du port sont effectués à l'aide de systèmes sonar à balayage latéral, lesquels fournissent des images du plancher océanique ressemblant à des photographies aériennes de régions terrestres, et à l'aide de systèmes de sismiques-réflexion à haute résolution, qui fournissent de l'information sur les sédiments et le socle rocheux sous-jacent. À partir de ces données, le géologue peut en déduire le type et la distribution des sédiments, la morphologie du fond marin, le genre de stucture (afin d'obtenir de l'information sur les conditions de dépôt) et les processus du fond marin. De plus, des échantillons et des carottes prélevés dans le fond marin à environ 250 emplacements répartis dans tout le port permettent d'étalonner et de confirmer les données acoustiques et contribuent à l'élaboration du modèle représentant l'histoire de la sédimentation.

Circulation moyenne de l'eau dans le port

Le port de Halifax est un estuaire, c'est-à-dire une nappe d'eau semi-fermée dont les propriétés sont touchées par l'eau douce qui s'écoule du continent. La figure 1 présente un tableau idéalisé de la circulation moyenne de l'eau dans le port. Les eaux qui se trouvent près de la surface tendent à s'écouler vers l'océan et à devenir plus salées à mesure qu'elles se déplacent vers celui-ci, car elles se mélangent avec la couche d'eau de la plate-forme continentale, laquelle s'engage dans le port à partir d'un point situé juste en-dessous du courant sortant superficiel jusqu'au fond. En revanche, les eaux de la plate-forme deviennent moins salées à mesure qu'elles entrent dans le port et qu'elles se mélangent avec les eaux plus douces, situées moins en profondeur.

Les mesures de la salinité des eaux dans le port confirment ce tableau idéalisé de la circulation moyenne; on peut les utiliser dans un modèle pour en déduire les forces du courant horizontal et les vitesses de mélange vertical.

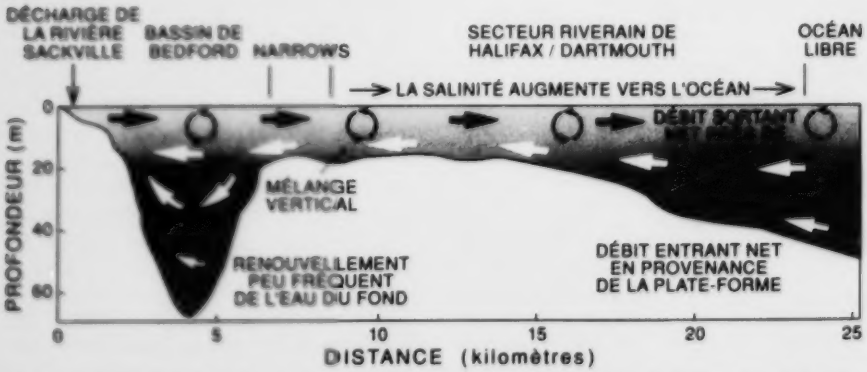


Fig. 1. Image idéalisée et simplifiée de la circulation de l'eau dans le port de Halifax. L'eau douce, représentée par le ruissellement de la rivière Sackville, s'écoule à la surface et immédiatement sous la surface à partir de la tête du bassin de Bedford; elle traverse les Narrows en direction de l'océan.

Dans la couche de surface, le courant sortant le plus faible observé dans le bassin de Bedford, 0,2 cm s^{-1}, déplace une parcelle d'eau d'environ 200 m par jour. Les courants atteignent leurs vitesses maximales d'environ 5 cm s^{-1} dans les Narrows, ralentissent à environ 2 cm s^{-1} là où le port s'élargit, dans le secteur du centre-ville, accélèrent légèrement dans un rétrécissement situé près de Sandwich Point et, finalement, ralentissent à 1 cm s^{-1} avant d'atteindre la plate-forme continentale. Dans le cas de la couche inférieure, la situation est semblable à la précédente, sauf que l'écoulement se fait dans la direction opposée, de l'extérieur vers l'intérieur du port.

Dans l'ensemble, les données des courantomètres corroborent ce tableau de la circulation de l'eau dans le port dérivé des mesures de la salinité et, dans un cas au moins, fournissent certains détails supplémentaires. Dans les Narrows, les instruments ont enregistrés les plus forts courants entrant près du fond, du côté est (Dartmouth) du port.

Voici les hypothèses que nous avons formulées à partir du modèle de la circulation de l'eau en ce qui concerne la distribution des sédiments. Les particules de sédiments plus fines du fond auraient généralement tendance à être charriées vers la tête du port, c'est-à-dire vers le bassin de Bedford. En outre, les particules provenant des égouts, charriées dans le port par la couche superficielle, seraient d'abord transportées vers la plate-forme. Toutefois, à mesure qu'elles calent, elles seraient captées par le courant entrant, plus profond, et retourneraient vers l'intérieur de l'anse. On peut s'attendre à ce que les sédiments dérivés des égouts soient confinés en majeure partie à l'arrière-port, aux Narrows et au bassin de Bedford, là où les principales bouches d'égout sont situées. Il est possible que le transport des sédiments dans le bassin se fasse en plus grande quantité sur le côté est du port en raison des plus forts courants qu'on y trouve.

Courants variables dans le port

Dans le port, les courants peuvent changer rapidement, la variation peut-être la mieux connue étant celle des courants de marée. Le vent peut également provoquer des changements rapides et draconiens dans la circulation de l'eau; il peut entraîner l'eau de surface d'un bout à l'autre du port en une heure environ ou soulever les sédiments du fond en créant des vagues. La figure 2 montre la force des courants variables dans le port dérivée de toutes les données recueillies grâce aux courantomètres à partir de la tête du bassin de Bedford jusqu'à la plate-forme continentale.

Les courants variables sont plus faibles dans le bassin, avec une amplitude (force

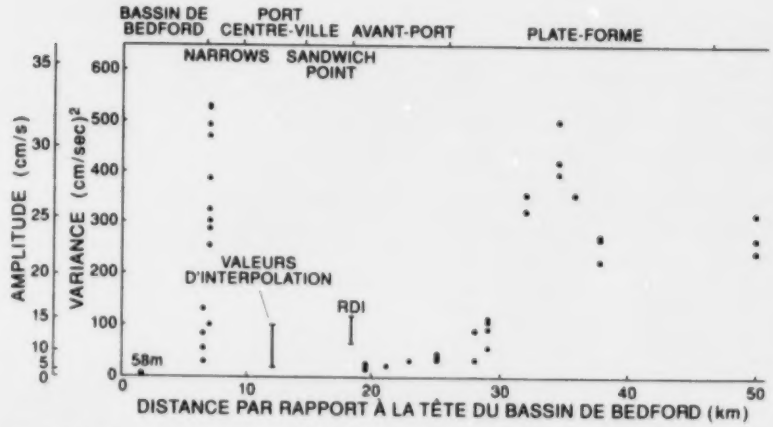


Fig. 2 Variance des courants dans le port et sur la plate-forme adjacente obtenue à partir des données des courantomètres.

maximale du courant variable) d'environ 3,5 cm s^{-1}. Des sédiments se déposent sans doute dans ce secteur de faible énergie. Les valeurs les plus élevées, qui varient entre 15 cm s^{-1} et 35 cm s^{-1}, sont observées dans les Narrows et sont dues en majeure partie aux marées. De plus, il y a probablement affouillement des sédiments fins dans ce secteur du port intérieur. À partir de Sandwich Point jusqu'à l'embouchure du port, les courants qui varient avec le temps ont une amplitude de 5 cm s^{-1} à 15 cm s^{-1}, les valeurs les plus faibles étant observées au large de Herring Cove. Ces secteurs, bien que la variabilité des courants y soit plus faible que dans les Narrows, sont plus exposés aux vagues océaniques, lesquelles peuvent avoir un effet important sur le transport des sédiments. Nous ne disposons d'aucune donnée pour le bras nord-ouest ou pour Eastern Passage, mais nous pouvons supposer que les courants variables y ressemblent davantage à ceux du bassin de Bedford qu'à ceux des Narrows.

Histoire des sédiments

Les sédiments du fond marin du port de Halifax témoignent non seulement de l'histoire géologique et naturelle de la formation du port mais aussi de l'histoire plus récente de son utilisation comme dépôt de déchets depuis le développement urbain. Ils ont en outre été modifiés par une agitation plus directe. Les dragues ont gratté et approfondi certains secteurs; des installations d'amarrage ont été construites, ce qui a souvent résulté en un remplissage des secteurs littoraux; le sable et le gravier y ont été exploités; des déblais de dragage, de vieux navires et de grandes quantités de débris y ont été abandonnés; on y a traîné des ancres de bateau; et des conduits d'admission et de décharge d'eau y ont été construits. Toutes ces activités humaines ont exercé un effet complexe sur les processus naturels de sédimentation et de transport des sédiments et ont produit les caractéristiques actuelles du fond dans le port. D'après une étude de ces caractéristiques, il est possible de déterminer la direction du transport des sédiments, les secteurs où il y a érosion ou dépôt de sédiments ainsi que les secteurs où il n'y a pas de dépôt. Nous pouvons comparer cette information aux données océanographiques physiques et l'utiliser pour combler les lacunes dans les mesures.

Distribution des sédiments

La figure 3 montre une carte des sédiments dans le port de Halifax préparée à partir des données obtenues grâce au sonar à balayage latéral, à la sismique-réflexion et à des échantillonnages. De larges secteurs du port comprennent des sédiments grossiers. Au nord de l'île McNabs, la plus grande superficie de sédiments grossiers se trouve dans les Narrows, lesquels correspondent à la région où la variance du courant est la plus élevée. Une autre superficie de sédiments grossiers se trouve à mi-chemin dans le bras nord-est, en face du parc Flemming, où l'on ne s'attendrait pas à de forts courants. On y trouve un fond marin composé de gravier avec des zones de blocs rocheux et d'affleurements du socle; les limons et les argiles fins y sont absents. Puisque ces deux superficies se trouvent dans des rétrécissements de l'anse, nous supposons que les forts courants représentent le mécanisme qui empêche

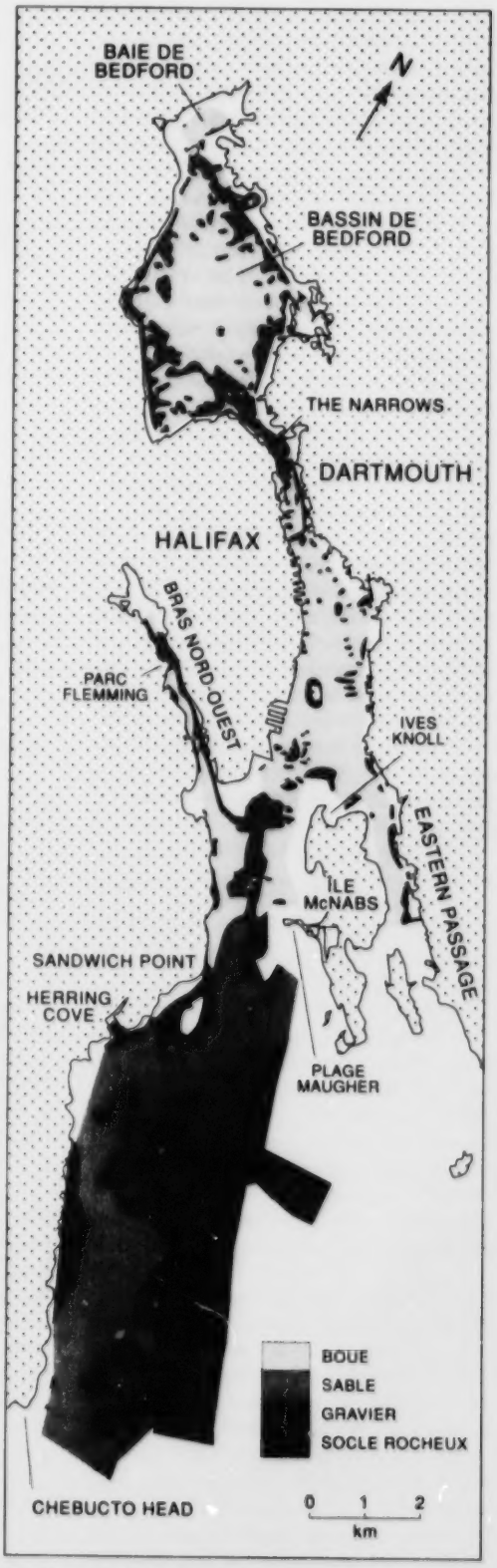


Fig. 3 Carte de la distribution des sédiments superficiels dans le port de Halifax.

l'accumulation de sédiments. D'autres secteurs du port ne comprennent également pas de sédiments fins : l'entrée de la baie de Bedford; Ives Knoll, près de la rive, au nord de l'île McNabs; les secteurs côtiers peu profonds jusqu'à une profondeur de dix mètres; de nombreux hauts-fonds de socle rocheux situés dans l'avant-port et de vastes étendues de l'avant-port situées au sud-est de l'île McNabs. L'action des vagues peut expliquer l'absence de sédiments dans l'avant-port et dans les secteurs côtiers peu profonds. Dans l'arrière-port, au nord de l'île McNabs, de nombreuses petites crêtes de sédiments grossiers à orientation préférentielle est-ouest font saillie dans le fond marin boueux. Deux banquettes de bloc rocheux (crêtes linéaires composées de blocs rocheux) entourent le bassin de Bedford à une profondeur de 23 mètres. Ces banquettes se sont probablement formées lorsque le bassin était un lac il y a environ 6 000 ans et que le gel des eaux du lac a concentré les blocs rocheux en crêtes de pression. La présente distribution des secteurs du fond marin comprenant des sédiments grossiers résulte donc d'une combinaison d'anciens processus et de conditions modernes de fortes énergies. L'étude acoustique nous a permis de situer facilement ces secteurs de forte énergie. Il serait pratiquement impossible d'étudier le port avec une résolution aussi grande en se servant de courantomètres.

Dans le bassin et la baie de Bedford, la majeure partie du fond marin est recouverte de sédiments boueux. Au sud des Narrows, dont le fond dur se compose de gravier, trois grandes parcelles boueuses dominent l'arrière-port. Celles-ci s'étendent vers l'océan jusqu'à la plage Maugher de l'île McNabs. Les sédiments boueux dominent également sur le fond du bras nord-ouest et d'Eastern Passage, ce qui corrobore encore une fois, en gros, l'hypothèse selon laquelle les courants seraient faibles dans ce secteur. Toutefois, au-delà du secteur de la plage Maugher, le caractère du fond marin change radicalement et ressemble à celui de la plate-forme néo-écossaise intérieure. Les sédiments y sont beaucoup plus grossiers, le socle rocheux affleure, et les particules de limon et d'argile sont généralement absentes. En outre, les particules de sédiments sont bien triées, de forme ronde ou quasi-ronde, ce qui indique qu'elles se trouvent ou qu'elles ont été formées dans un environnement de fortes énergies. Les mégarides, formes dans le fond sableux, et les rides de gravier formées par les vagues sont fréquentes. Les affleurements du socle sur les nombreux hauts-fonds et dans la zone peu profonde située au sud de l'île McNabs sont caractérisés par la présence de grandes étendues de substrat exposé, souvent jonchées de blocs rocheux. C'est un secteur où l'on peut s'attendre à ce que l'action des vagues de surface ait un effet important. La morphologie de l'avant-port est dominée par un chenal large et profond qui rejoint le côté ouest de l'avant-port à partir de Sandwich Point jusqu'au-delà de Chebucto Head. En fait, on peut suivre ce chenal en direction de l'océan sur une distance de plus de 30 km (King, 1970). On pense que c'est le chenal de l'ancienne rivière Sackville qui traversait cette région lorsque la glaciation avait abaissé le niveau de la mer. Le lit du chenal est tapissé de sable fin qui recouvre des sédiments glaciaires et estuariens boueux sous-jacents. Les premières formes (mégarides) observées au fond, à l'extérieur de l'arrière-port, se trouvent dans le chenal d'une profondeur de 30 m situé au large de Sandwich Point. Une grande zone de mégarides se trouve au sud du haut-fond Litchfield (au sud de Herring Cove) et se poursuit à l'extérieur du port dans le chenal profond qui longe le côté ouest du port jusqu'à Chebucto Head. Le secteur situé au nord du haut-fond Litchfield a un fond marin semblable à celui de cette zone; il est constitué de sable, mais ne comporte pas de mégarides. Cela indique que les courants de fond sont moins énergétiques dans le secteur situé au large de Herring Cove. Nous avons également déterminé que ce secteur est le lieu des courants les plus faibles de l'avant-port et qu'il est peut-être protégé par la topographie du haut-fond Litchfield.

Caractéristiques dues à l'activité humaine

Sur les images obtenues grâce au sonar à balayage latéral à partir de l'arrière-port, le bassin de Bedford y compris, on observe des traces de l'activité humaine, qui constituent la caractéristique la plus frappante du fond marin, notamment la présence de traces d'ancre, de déblais et de traces de dragage, de bancs d'emprunt, de cicatrices gaufrées (cratères d'échappement de gaz), d'épaves, de cables, de bancs d'égout, de prises d'eau et de conduits d'évacuation d'eau, de traces d'hélices et de débris non identifiés. Dans le bassin de Bedford, par exemple, plus de 80% du fond marin boueux est lacéré de traces d'ancre. Ce sont des traces linéaires-curvilinéaires de 1 à 2 m de profondeur qui lacèrent et bouleversent les sédiments. Au-dessus de la surface marquée par les ancres, il y a de grandes quantités de déblais de dragage. Ce sont des décharges circulaires de débris composés d'une large gamme de matières à granulométrie très variée. Dans le cadre d'une caractérisation géochimique des sédiments (Buckley et Hargrave, 1989), on a produit une série de cartes illustrant la distribution des contaminants dans tout le port, laquelle semble liée aux nombreux points de décharge qui s'y trouvent actuellement. Certaines de ces caractéristiques anthropiques fournissent de l'information qui peut servir à comprendre le mouvement des matières dans le port ou à identifier les secteurs où il n'y a pas de dépôts ainsi que les secteurs d'érosion. À son tour, cette information peut être corrélée avec les données océanographiques physiques pour comprendre la dynamique du port de Halifax.

Indices du transport des sédiments

Aucune mesure directe du transport des sédiments dans le port de Halifax n'a été entreprise. De telles études exigent le recours à des traceurs et à des programmes subséquents de surveillance; elles n'ont été réalisées que sur le banc de l'île de Sable, situé sur la plate-forme néo-écossaise (Amos et Knoll, 1987). Cependant, de nombreuses autres caractéristiques des sédiments peuvent servir d'indices qualitatifs. Par exemple, on peut interpréter l'orientation des caractéristiques pour en déduire les courants responsables. Les profils de distribution du gravier, du sable, du limon et de l'argile; les formes dans le sable et le gravier fin; l'allure de l'affouillement autour des obstacles du fond marin; la distribution des bancs de matières provenant des égouts; la distribution des anomalies géochimiques relativement aux points d'injection; la présence de traces de comètes (traces d'érosion dues aux obstacles) et la distribution du socle dénudé sont tous des exemples de caractéristiques qui peuvent servir à la déduction des profils du courant.

Les indices du transport des sédiments les plus facilement identifiables sont les formes du substrat dans l'avant-port. Des mégarides recouvrent une grande superficie du fond marin dans le chenal de l'ancienne rivière Sackville, constitué de socle rocheux. Leur longueur d'onde est de 4 m environ, et leur hauteur, inférieure à 0,5 m. Elles constituent des formes de substrat orientées transversalement au courant et équidistantes crête à crête. Habituellement, les mégarides se forment par une vitesse moyenne du courant variant entre 40 et 60 cm s^{-1} (Amos et King, 1984). Certaines de leurs crêtes sont décomposées selon trois tridimensions, ce qui se produit normalement sous des courants de turbulence supérieure. La forme des mégarides tridimensionnelles indique que les sédiments du fond sont transportés vers l'intérieur du port en direction nord, c'est-à-dire dans la direction du courant moyen. Ces mégarides sont en général dégradées, avec des crêtes moins bien définies, ce qui indique que leur formation peut avoir eu lieu entre plusieurs mois et un an auparavant. Souvent, les communautés benthiques brouteuses érodent rapidement et détruisent les crêtes des mégarides.

Dans de nombreux secteurs adjacents aux mégarides, où les eaux sont légèrement moins

profondes, on trouve de grandes zones de rides dans le gravier. Ces dernières côtoient souvent les hauts-fonds, où le socle rocheux affleure, et se situent entre les zones de socle rocheux et les mégarides. Ces rides sont caractérisées par des longueurs d'onde de 1 à 2 m et des hauteurs de moins de 0,5 m. Elles ne constituent pas une indication du transport des sédiments, car elles sont formées *in situ* par le mouvement oscillatoire associé aux vagues. La présence de rides dans le gravier et de mégarides dans l'avant-port indique que les sédiments limoneux et argileux fins ne se déposent pas dans ces secteurs. Les sédiments de la taille du limon et de l'argile déposés là seraient transportés, soit plus loin vers le large, jusqu'à la plate-forme néo-écossaise intérieure, soit vers la tête du port en direction nord.

Nous avons examiné attentivement les sonogrammes produits par balayage latéral dans les Narrows pour y trouver des indices du transport des sédiments, mais nous n'en avons pas trouvé. La présence de gros blocs rocheux en font un lieu bien protégé contre les traces de comètes et d'autres caractéristiques d'affouillement dus aux forts courants. Dans les Narrows, le fond marin se compose de zones de gravier grossier et de zones de socle rocheux; les sédiments limoneux et argileux y sont rares. Toutefois, les courants sont assez forts pour empêcher le dépôt de la plupart des sédiments fins, ce qui indique la présence d'une tension de cisaillement supérieure à 1 nm^{-2}. En effet, des courants ayant une force de cet ordre, jusqu'à 90 cm s^{-1}, ont été observés dans les Narrows.

La distribution des anomalies géochimiques dans les sédiments du port constitue un autre indice du transport des sédiments (Buckley et Hargrave, 1989). D'après un grand nombre de ces distributions, il y aurait dispersion et dépôt de matières provenant des conduits d'évacuation d'égout le long des rives du port en direction du nord, ce qui est conforme à la direction de l'écoulement moyen. Les anomalies liées au mercure indiquent que des matières déversées à partir de la rue Duffus et de l'anse Tuft traversent les Narrows et se déposent du côté sud-est du bassin de Bedford. De même, les effluents d'eau d'égout du quai A peuvent être suivis vers l'intérieur du port jusqu'à un secteur situé au nord de l'île Georges.

Les traces d'ancre sur le fond du port sont un indice important qui peut aussi servir à étudier l'histoire de la sédimentation et du transport des sédiments. De grandes étendues du bassin de Bedford et de l'arrière-port sont couvertes de traces d'ancre enchevêtrées. Puisqu'il s'en trouve dans la plupart des secteurs du bassin et dans la plupart des chenaux de navigation du port, où il est défendu de mettre l'ancre, elles sont considérées comme des reliques, c'est-à-dire formées dans le passé sans avoir été très modifiées ou ensevelies par la suite. On pense que les traces qui se trouvent dans le bassin sont le résultat du rassemblement de convois au cours de la Seconde Guerre mondiale, tandis que celles qui se trouvent dans l'arrière-port peuvent avoir été faites il y encore plus longtemps, lors de la fondation de Halifax. Du côté du port qui se situe près de Halifax, de récents dépôts de sédiments recouvrent l'ancienne surface marquée de traces d'ancres. Puisque la profondeur des traces d'ancres fraîches varie entre 1 m et 2 m, les dépôts de sédiments ont une épaisseur de plus de 2 m. Tout comme la répartition des anomalies géochimiques, les secteurs où se trouvent les traces d'ancres ensevelies se prolongent vers l'intérieur du port à partir des principales bouches d'égout et indiquent que les matières sont dispersées vers le nord à mesure qu'elles se déposent sur le fond marin.

Conclusion

Les données océanographiques concordent bien avec les données géologiques; elles indiquent que les courants de fond remontent vers l'intérieur du port. D'après la distribution des mégarides dans l'avant-port, les courants sont plus forts au sud du haut-fond Litchfield, ce qui a empêché le dépôt de sédiments limoneux et argileux fins à cet endroit. Au nord du haut-fond Litchfield, en face de Herring Cove, l'absence de formes dans le fond marin constitué de sédiments sableux peut être interprétée comme une confirmation des mesures des courantomètres, qui indiquent un écoulement plus faible. Cette anomalie océanographique locale pourrait être due à l'abri topographique qu'offre le haut-fond Litchfield. D'après les données océanographiques, il devrait y avoir des sédiments grossiers dans les Narrows, et les données géologiques confirment cette prévision. Dans le bras nord-est, en face du parc Flemming, la même absence de sédiments fins dans un chenal qui se rétrécit suggère la présence de forts courants dans un secteur où aucune mesure des courants n'a été effectuée. Dans la partie est de l'arrière-port, le socle rocheux et le gravier dominent sur le fond marin. Dans ce secteur, de nombreux affleurements du socle voisinent avec des dépôts ridés de gravier, ce qui indique que l'énergie des vagues est forte et qu'elle atteint le fond marin. Les sédiments boueux sont restreints au secteur nord de la plage Maugher. Leur présence dans l'arrière-port, Eastern Passage et le bras nord-ouest reflète des vitesses plus faibles du courant. Les anomalies géochimiques dans les sédiments et les bancs de matières d'égout qui recouvrent les sédiments plus anciens marqués de traces d'ancres indiquent un transport des sédiments vers l'intérieur du port, même dans les secteurs où la vitesse des courants est plus faible.

Ces exemples nous aident à illustrer comment les disciplines de la géologie marine et de l'océanographie se complètent. Le physicien en océanographie physique ne pourrait espérer mesurer les courants selon une échelle spatiale aussi précise que celle à laquelle le géologue de la mer étudie les sédiments. À partir des caractéristiques sédimentaires, l'océanographe peut déduire l'effet des courants dans des régions plus étendues que les emplacements de mesure. D'autre part, en disposant de mesures directes du courant, le géologue peut commencer à résoudre les questions difficiles liées à la remise en suspension et au transport des sédiments. En l'absence d'ensembles complets de données, on peut se servir de ces deux types de données pour prévoir les conditions qui peuvent exister dans le milieu marin.

Nous voulons remercier R.O. Miller et S.S. Pecore pour la compilation et l'intégration des données géologiques ainsi que D. Buckley pour ses observations et suggestions.

Références bibliographiques

AMOS, C.L. et E.L. KING. 1984. Bedforms of The Canadian eastern seaboard: A comparison with global occurences. Mar. Geol. 57:167-208.

AMOS, C.L. et R. KNOLL. 1987. Quarternary sediments of Banquereau Scotian shelf. Geological Society of America Bulletin 99:244-260.

BUCKLEY, D.E. et B.T. HARGRAVE. 1989. Geochemical characteristics of surface sediments. In: H.B. Nichols (éd.) Investigations of Marine Environmental Quality of Halifax Harbour. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1693:9-36.

KING, L.H. 1970. Surficial geology of the Halifax-Sable Island Map Area. Marine Sciences Paper No. 1:16 p.

MILLER, R.O. et G.B.J. FADER. 1989. Cruise Report F.R.V. Navicula No 88-018(A) Phase 1, Halifax to Sambro, Internal Report, Atlantic Geoscience Center, Geological Survey of Canada, BIO, Dartmouth, N.S.:22 p.

MILLER, R.O., G.B. J. FADER et D.E. BUCKLEY. 1990. Cruise Report F.R.V. Navicula No. 89-009, Phase A, Halifax Habour, Internal Report, Atlantic Geoscience Centre, Open File report #2242.

Processus sédimentaires et habitat

K. Kranck

K. Kranck

Tout comme l'atmosphère, l'hydrosphère n'est pas un fluide pur, elle contient une phase de particules solides qui, comme la pluie, la neige, le brouillard et le smog atmosphérique, constitue un élément fondamental de bon nombre des processus environnementaux les plus importants. L'origine et la composition de cette matière particulaire en suspension dans la mer sont diverses. De fines particules de sol provenant de l'érosion terrestre sont transportées dans la mer par les rivières. La production organique y apporte des cellules planctoniques vivantes et des détritus organiques. De nombreux produits chimiques, notamment la plupart des substances que nous fabriquons et que nous déversons dans notre environnement aquatique, se retrouvent sous forme de particules ou en association avec des particules.

La plupart des particules passent un temps infini dans la mer et sont éliminées tôt ou tard par divers processus. Le fond de l'océan est constitué surtout de sédiments boueux résultant de la sédimentation de grains minéraux fins. Le phytoplancton et les détritus finissent aussi par se déposer ou se dissoudre, soit avant, soit après avoir été consommés par des organismes supérieurs. À long terme, il existe un état virtuellement stable entre la production et l'élimination des particules, mais le comportement dynamique à court terme des particules intéresse la biologie des pêches, les travaux maritimes, la gestion des déchets et la plupart des autres branches de l'océanographie appliquée. À l'IOB, le Groupe de la dynamique des particules de la Division de l'océanographie côtière étudie les problèmes liés aux particules dans le but général d'accroître la compréhension des interactions entre les particules et d'autres facteurs océanographiques. Ce travail fait appel à la physique, à la biologie, à la chimie et à la géologie et représente un exemple de la nature de plus en plus interdisciplinaire du domaine de l'océanographie.

Les matières particulaires sont présentes dans la mer parce que leur mouvement descendant, dû à la gravité, est compensé par un mélange ascendant causé par la turbulence des marées et des courants. Par conséquent, la plupart des particules en suspension passive sont microscopiques, et leur propriété la plus importante est leur vitesse de sédimentation, laquelle dépend principalement de leur taille, de leur densité et de leur forme. La taille des particules varie entre celles des bactéries et des flocons d'argile, de moins d'un micron de diamètre, et celles des diatomées et des grains de sable, d'un diamètre de plusieurs centaines de microns. Quant à leur densité, elle va de moins de 1,01 g/cm^3 pour les cellules vivantes à plus de 2,5 g/cm^3 pour les grains de silice communs. Leur forme influe également sur leur comportement dynamique, et l'on trouve de tout, tant des sphères parfaites que des structures filamenteuses délicates et complexes. Il n'est pas inhabituel de constater que la vitesse de sédimentation des particules en suspension, en un endroit et en un moment donnés, varie de plus de six ordres de grandeur, ce qui se traduit par un énorme degré de complexité dans la réponse des particules aux forces dynamiques qui règnent dans la mer. Le fait que la taille des particules n'est pas constante complique les choses. En présence de certains constituants dissous, notamment des sels et des matières organiques, les cellules ou les grains individuels sont instables, et, au contact les uns avec les autres, tendent à s'agglutiner ensemble et à "floculer" pour former des complexes plus gros qui sédimentent plus rapidement. Ainsi, dans la mer, et, dans une moindre mesure, dans l'eau douce, les particules en suspension forment des agrégats ou "floculats". Ces derniers sont très fragiles et, bien qu'ils aient été observés et photographiés sous l'eau, ils se désagrègent lorsqu'ils sont échantillonnés ou soumis à des méthodes ordinaires d'analyse des particules.

Actuellement, notre incapacité à déterminer la distribution des tailles et la vitesse de sédimentation des particules dans l'océan nuit beaucoup à la compréhension des processus auxquels ces dernières participent. Par conséquent, au sein de l'IOB, plusieurs groupes font l'essai de différents systèmes conçus pour mesurer la taille des particules *in situ*. La Division de l'océanographie côtière utilise à cette fin un appareil photo à plancton Benthos (figures 1 et 2), un système de caméra stéréographique qui a été mis au point au Centre géoscientifique de l'Atlantique; les deux groupes utilisent un système automatique d'analyse digitale des images pour déduire la distribution des particules à partir des photographies qu'ils prennent. Les scientifiques de la Division de la métrologie se servent depuis longtemps de systèmes électroniques de détection pour dénombrer le zooplancton et ils sont maintenant prêts à appliquer leurs techniques à des particules plus petites. On espère que l'une des méthodes étudiées à l'IOB, ou que deux ou plusieurs d'entre elles combinées, permettront de mesurer *in situ* la distribution de toute la gamme des tailles des particules.

La seule propriété des suspensions que les scientifiques peuvent mesurer avec précision est la taille des grains inorganiques sédimentaires individuels. Au cours du transport des particules dans une suspension, leur taille *in situ* peut changer mais celle des fragments minéraux individuels demeure relativement stable. La distribution granulométrique des grains inorganiques dissociés qui composent un sédiment représente un indice de la source et de l'histoire de ce dernier. Afin d'élaborer des méthodes visant à interpréter plus précisément les caractéristiques de la taille des grains de sédiments, on utilise actuellement, dans le cadre d'études, des techniques précises d'analyse de la taille mises au point par le

Fig. 1 Mise en place de l'appareil photo à plancton Benthos au confluent du Mackenzie et de la rivière Rouge, Territoires du Nord-Ouest, en vue d'obtenir des photographies in situ des matières particulaires en suspension qui traversent le cadre de l'image entre la lampe stroboscopique et la boîte de l'appareil.

Fig. 2 Appareil photo plongé dans un étang à poisson au Bangladesh.

Laboratoire de la dynamique des particules et fondées sur le compteur de Coulter. La comparaison des spectres de la taille des grains en suspension avec ceux des sédiments du fond dans différents milieux marins a aidé à jeter de la lumière sur les conditions environnementales présentes et passées qui sont inscrites dans les relevés. Il a été établi que, dans le cas de la fraction des particules plutôt grossières, il se produit habituellement une chute subite dans la distribution des tailles, et que la taille maximale est fonction du degré de turbulence, laquelle garde les particules en suspension. Les effets de la floculation sur la distribution granulométrique ont été étudiés en laboratoire. Des suspensions de sédiments non triés dont la distribution des tailles était semblable à celle que l'on retrouve dans la plupart des rivières et des estuaires – c'est-à-dire contenant environ le même volume de matières dans chacune des classes granulométriques – ont été placées dans des béchers pour décanter. D'après la variation de la distribution des tailles en fonction du temps, lorsque du sel était ajouté à la suspension pour provoquer la floculation, les grains de toutes tailles se déposaient à la même vitesse tandis que lorsque la floculation était empêchée, seuls les plus gros grains sédimentaient au cours d'une période de temps donnée (fig. 3a et 3b). Ceci indique que la floculation forme des agrégats composés d'une fraction représentative de toutes les tailles et de tous les types de particules se trouvant dans la suspension au départ. Puisque la majorité des suspensions contiennent au départ des matières non triées, cette expérience nous fournit des critères permettant d'estimer si les sédiments du fond se sont déposés en grains individuels ou

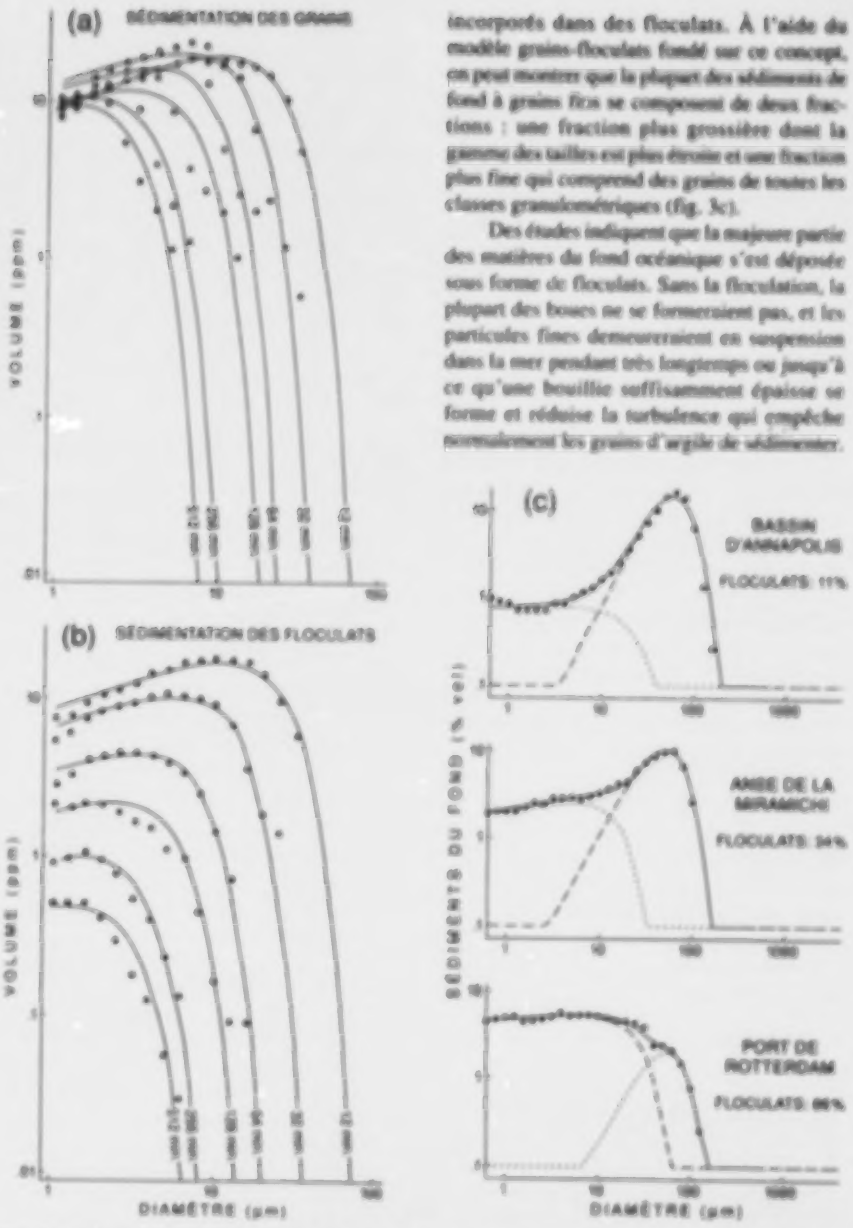


Fig. 3 Analyse de la taille des grains d'après le graphique en coordonnées bilogarithmiques des spectres de distribution des fréquences. Les points représentent les résultats du compteur Coulter, et les lignes illustrent la correspondance entre les équations du modèle floculats-grains et les données. Les parties (a) et (b) montrent les résultats des expériences en laboratoire visant à vérifier les différences dans les effets de la sédimentation des grains individuels et des floculats sur la distribution des tailles des grains d'une suspension. Des suspensions identiques de sédiments ont été mises à décanter dans de l'eau distillée (a) et de l'eau de mer (b), et la distribution de la taille des sédiments (désagrégés) a été mesurée après augmentation des intervalles de temps. Dans la suspension non floculée (a), les concentrations ont diminué principalement dans les plus grandes classes granulométriques alors que dans la suspension floculée (b), les concentrations ont diminué dans toutes les classes de tailles, car les petits grains ont formé des floculats qui sédimentaient plus rapidement. (c) Spectres de la taille des grains de sédiments du fond provenant de trois estuaires illustrant la double origine des sédiments à grains fins. La ligne brisée indique des sédiments qui se sont déposés en grains individuels; la ligne pointillée, des sédiments qui se sont déposés en floculats; et la ligne continue, le total.

incorporés dans des floculats. À l'aide du modèle grains-floculats fondé sur ce concept, on peut montrer que la plupart des sédiments de fond à grains fins se composent de deux fractions : une fraction plus grossière dont la gamme des tailles est plus étroite et une fraction plus fine qui comprend des grains de toutes les classes granulométriques (fig. 3c).

Des études indiquent que la majeure partie des matières du fond océanique s'est déposée sous forme de floculats. Sans la floculation, la plupart des boues ne se formeraient pas, et les particules fines demeureraient en suspension dans la mer pendant très longtemps ou jusqu'à ce qu'une bouillie suffisamment épaisse se forme et réduise la turbulence qui empêche normalement les grains d'argile de sédimenter.

La floculation débarrasse aussi le milieu marin des détritus, comme les dérivés de la production organique. Sans son action de nettoyage, la transparence réduite diminuerait de beaucoup la pénétration de la lumière solaire, et les niveaux actuels de production primaire seraient impossibles. Les lacs de l'Arctique remplis d'eau de fonte glaciaire, dont la teneur en sel et en matière organique est faible, constituent des exemples d'un environnement sédimentaire où il n'y a pas de floculation. Grâce à des études sur le terrain réalisées par le Groupe de la dynamique des particules près de Pond Inlet sur l'île de Baffin, on a rassemblé des preuves de l'abondance de grains minéraux très fins et non floculés en suspension dans ces lacs. La manifestation la plus visible de l'absence de floculation est le phénomène très voyant "d'eau trouble", qui découle du fait que la lumière se réfléchit sur les flocons d'argile individuels orientés parallèlement aux lignes des courants de turbulence, phénomène observé à la surface de certaines masses d'eau douce mais jamais en mer (fig. 4). Afin d'effectuer d'autres comparaisons entre les conditions de floculation et les conditions de non-floculation, des échantillons de loess, sédiments à grains fins transportés par le vent qui recouvrent une grande partie des régions terrestres de latitude moyenne, ont été obtenus de partout dans le monde, soit par prélèvement direct, soit au moyen d'échanges contre analyse. On a trouvé que ces échantillons ne contenaient pas la fraction des grains les plus fins, ce qui confirme la nature non floculée des particules dans les suspensions de départ (courants aériens de surface à la fin du Pléistocène), laquelle a imposé une limite supérieure à la taille des grains des aérosols.

En plus de son travail sur les lacs glaciaires et sur les loess, le Groupe de la dynamique des particules a entrepris d'autres études dans des milieux où une combinaison spéciale de conditions environnementales rend l'étude d'un effet particulier plus facile qu'en milieu marin. Souvent, ces études sont réalisées en collaboration avec des scientifiques engagés dans une recherche appliquée de nature plus classique. Par exemple, lorsqu'on a constaté que les fluctuations extrêmes des caractéristiques énergétiques des courants dans les estuaires minaient nos études du transport des sédiments, il a fallu trouver un environnement où régnaient des conditions de courant plus uniformes; on a donc entrepris des études de sédiments fluviaux en suspension. Celles-ci comprenaient des études de la sédimentation au Bangladesh et dans l'Arctique canadien, qui ont toutes deux été réalisées conjointement avec d'importantes études de gestion des cours d'eau entreprises par d'autres instituts (fig. 1). De même, des sédiments provenant de déserts, des latérites tropicaux et des tills ont aidé à caractériser la taille des produits de météorisation nouvellement formés et non modifiés par un tri quelconque dû à un fluide. Des études sur des milieux possédant une très forte teneur en matières particulaires ont été réalisées dans des estuaires, où un dragage répété a formé une couche de boue fluide de faible densité, située près du fond et facilement remise en suspension. Ce sont des milieux où la formation de floculats est maximale. L'expérience générale acquise et les résultats des études sur les boues fluides entreprises dans le port de Rotterdam et dans la baie de San Francisco ont été appliqués à l'anse de la Miramichi (Nouveau-Brunswick), où, comme dans les deux ports susmentionnés, un chenal creusé artificiellement recueille les déblais provenant d'activités antérieures de dragage et de dépôt d'ordures. Des échantillonnages répétés du fond effectués près du principal dépôt d'ordures de l'anse de la Miramichi (fig. 5) montrent que les déblais migrent sur le fond et qu'il y a formation progressive de "boue fluide", de faible densité, dérivée du dragage, un genre de sédiment identifié pour la première fois en Hollande.

L'un des principaux objectifs des études sur les particules est d'en arriver à une meilleure compréhension des habitats écologiques marins. Au cours des prolifération de phytoplancton, de très grandes concentrations de cellules individuelles et de chaînes de cellules se forment dans la colonne d'eau. Il semble que ce phénomène soit en contradiction avec l'observation selon laquelle toute suspension d'eau de mer ayant de fortes concentrations floculé facilement. On s'est servi d'un appareil qui prend des photos *in situ* de matières particulaires en suspension pour étudier une prolifération de diatomées dans le bassin de Bedford. Les photographies prises pendant dix jours ont montré que, même si les diatomées étaient au départ des cellules individuelles, après un certain temps, comme les autres particules, elles commençaient à former des floculats (fig. 6). Il en a résulté que les diatomées ont traversé la thermocline, qu'elles n'avaient pas pénétrée jusque là, pour

Fig. 4 Phénomène d'eau trouble causé par la réflexion de la lumière sur les sédiments non floculés en suspension dans le fleuve Mackenzie, à Fort Simpson. Le stylo flottant en surface (servant d'échelle) mesure 14 cm de longueur.

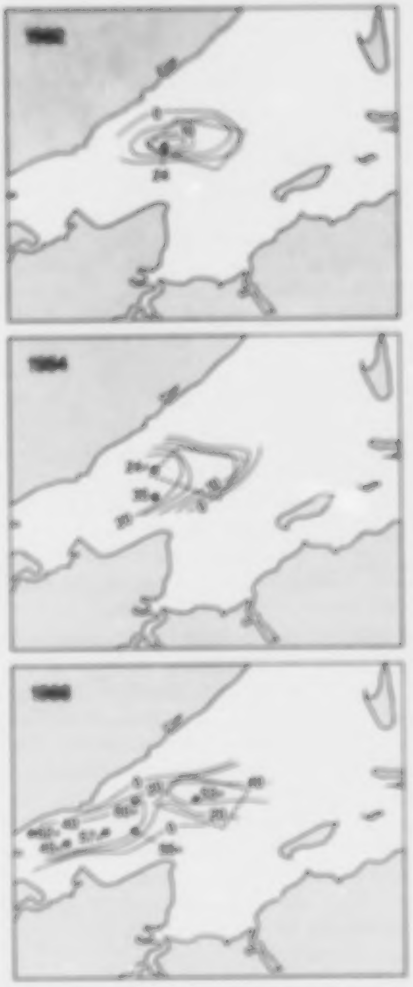


Fig. 5 Étendue de la boue fluide provenant de sédiments dragués dans le chenal de navigation de l'anse de la Miramichi, au Nouveau-Brunswick. Le contour donne l'épaisseur des dépôts, et la surface délimitée montre le point de dépôt désigné des déblais de dragage.

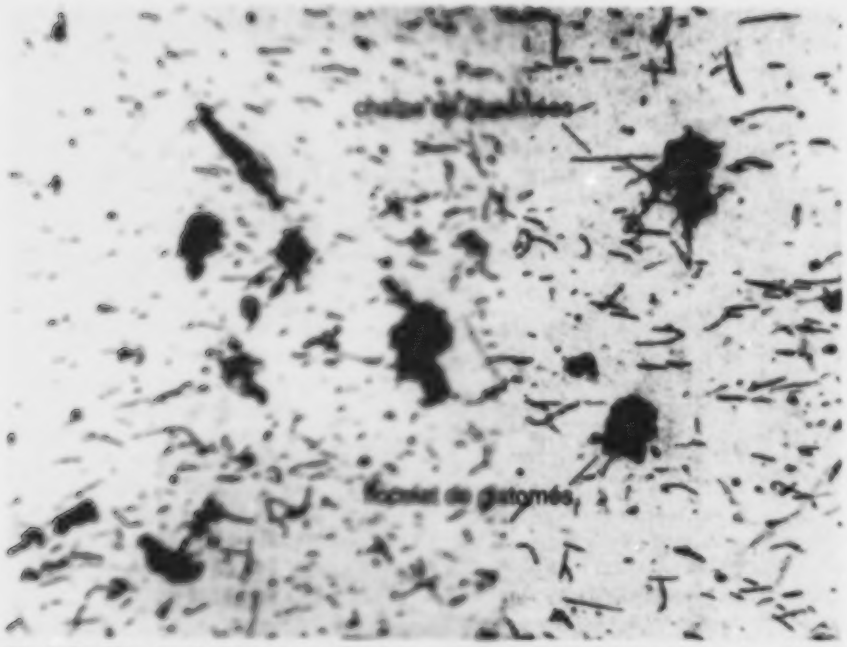


Fig. 6 Prolifération de diatomées en floculation photographiée à l'aide d'un appareil photo à plan ton Benthos. L'appareil prend des photographies in situ d'une parcelle d'eau de 4 cm d'épaisseur. Les particules semblables à des aiguilles sont des chaînes de diatomées individuelles (principalement Chaetoceros*), et les taches plus grosses sont des diatomées qui ont floculé pour former des agrégats irréguliers de tailles diverses.*

se déposer au fond. Ce n'est qu'en photographiant les diatomées *in situ* que l'on a pu en déceler les floculats, qui se décomposent lorsqu'ils sont échantillonnés. La floculation peut également servir à comprendre les habitats benthiques où la faune du fond se nourrit des floculats de particules, riches en matière organique, qui sont transportés sur le fond. La floculation de tous les éléments d'une suspension produit des floculats dont les grains inorganiques servent de ballast et gardent la matière organique plus légère et riche en éléments nutritifs concentrée près du fond. Ce processus joue évidemment un rôle dans la culture des moules, car la floculation contrôle les éléments disponibles pour ces bivalves qui se nourrissent de façon sélective de particules d'une taille particulière (fig. 6).

Les plans de recherche du Groupe de la dynamique des particules comprennent une étude comparative de la distribution des tailles dans le cas des particules vivantes et des particules non vivantes. Le phytoplancton est sujet aux mêmes contraintes physiques que les autres particules en suspension, mais les organismes phytoplanctoniques ont en outre des propriétés qui vont à l'encontre de la sédimentation gravitationnelle, comme des flagelles pour se déplacer et la capacité de contrôler leur densité. Les grains minéraux par contre sont relativement inertes, et leurs propriétés physiques ne changent pas rapidement. La floculation peut accroître la vitesse de sédimentation des petits grains mais ne semble pas influer sur la vitesse maximale de sédimentation des plus gros grains qui se trouvent dans une suspension. L'hypothèse, selon laquelle les similarités dans les spectres de tailles des particules vivantes et des grains minéraux indiquent que des caractéristiques du phytoplancton peuvent être attribuées à des facteurs purement physiques, sera mise à l'épreuve et utilisée pour étudier la variabilité du phytoplancton. Cette tâche sera réalisée conjointement avec des études relatives aux effets des sites aquicoles sur l'environnement marin des petites baies et des estuaires dans les provinces maritimes.

Lectures complémentaires

EISMA, D. 1986. Flocculation and de-flocculation of suspended matter in estuaries. Netherl. J. Sea Res. 20:183-199.

KRANCK, K. et T.G. MILLIGAN. 1985. Origin of grain size spectra of suspension deposited sediment. Geo-Mar. Lett. 5:61-66

KRANCK, K. et T.G. MILLIGAN. 1988. Macroflocs from diatoms; *in situ* photography of particles in Bedford Basin, Nova Scotia. Mar. Ecol. Prog. Ser. 44:183-189.

KRANCK, K. et T.G. MILLIGAN. 1989. Effects of a major dredging program on the sedimentary environment of Miramichi Bay, New Brunswick. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences, No. 112. Dept. of Fisheries and Oceans Canada.

KRANCK, K. (Sous presse) Interparticle grain size relationships resulting from flocculation. In: R. Bennet (éd.). Clay microstructures. Springer-Verlag.

SYVITSKI, J.P.M., K.W. ASPREY et D.E. HEFFLER. (Sous presse) The floc camera: a three-dimensional imaging system of suspended particulate matter. In: R. Bennet (éd.). Clay microstructures. Springer-Verlag.

Science et aquaculture : une question d'offre et de demande

R. H. Cook et R. E. Lavoie

R. H. Cook

R. E. Lavoie

L'aquaculture au Canada n'est pas une pratique nouvelle. La première truite élevée en écloserie a été produite au Canada près de Québec en 1857 et, l'année suivante, on répétait l'expérience avec le saumon de l'Atlantique (Nettle, 1857; Dunfield, 1985). La culture des huîtres débutait officiellement en 1865, alors que le gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard émettait un décret régissant la location de certaines zones dans le but d'y faire l'élevage des huîtres (Mathieson, 1912; Lavoie, 1989). Ces initiatives découlaient des résultats de recherches visant à acquérir une certaine maîtrise des processus de reproduction et de production d'espèces aquatiques, à des fins commerciales ou de loisirs.

Les exploitants d'entreprises d'aquaculture modernes et efficaces connaissent bien leurs espèces et ils étudient soigneusement toute nouvelle espèce avant de l'ajouter à leur élevage. La connaissance préalable de l'ontogenèse ainsi que des besoins biologiques et relatifs à l'habitat des espèces considérées est indispensable au choix du site et à l'élaboration des plans d'entreprise. Les éleveurs doivent connaître les maladies et les prédateurs potentiels de manière à pouvoir les éviter en prenant les soins appropriés, et ils doivent adopter des mesures permettant de limiter les dégâts. Ils doivent également connaître les standards de qualité ainsi que les exigences des marchés où ils comptent vendre leurs produits. Cependant, la plupart des éleveurs potentiels ne disposent pas de telles connaissances et de l'expertise nécessaires.

Ils peuvent heureusement compter sur le secours de la science. Les scientifiques sont en effet capables de prévoir les besoins d'information technique et de mettre à profit les connaissances disponibles au pays et à l'étranger, de déterminer les domaines dans lesquels ces connaissances sont insuffisantes et de faire les recherches nécessaires. Ils arrivent ainsi à livrer l'information indispensable aux producteurs, aux investisseurs privés, aux organismes de développement économique ainsi qu'aux organismes chargés d'appliquer la réglementation des gouvernements fédéral et provinciaux.

L'industrie de l'aquaculture se développe rapidement dans la région de Scotia-Fundy, tant pour ce qui est des poissons que des coquillages. Les installations commerciales de croissance, ainsi que les écloseries, les centres de recherche et les sites expérimentaux sont éparpillés dans toute la région, sauf dans les parties les plus reculées de la baie de Fundy (fig. 1).

Les recherches portant sur chaque espèce varient en fonction du besoin estimé d'informations, des demandes de solutions à des problèmes rencontrés par les éleveurs, de l'importance de chaque espèce pour la région et des ressources humaines et financières que peuvent fournir le secteur privé, les universités et les deux paliers de gouvernements.

Le présent article décrit le travail de recherche et de développement mené par le ministère des Pêches et Océans (MPO) sur les cultures de poissons et de coquillages, ainsi que sur les impacts environnementaux de l'aquaculture. Pour finir, les auteurs proposent une réflexion sur l'avenir de l'aquaculture.

Aquaculture (poisson)

L'élevage commercial des poissons dans les Maritimes est une activité relativement récente qui est basée exclusivement sur l'élevage du saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) et de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), dans des cages immergées dans la mer. Cette activité a mis en valeur les bienfaits de l'aquaculture ainsi que son potentiel comme force socio-économique de premier ordre. Malgré ce potentiel, réussir dans ce genre d'entreprise n'est pas chose facile. Plusieurs expériences menées dans les années 1960 au Cap Breton, près de Peggy's Cove (Nouvelle-

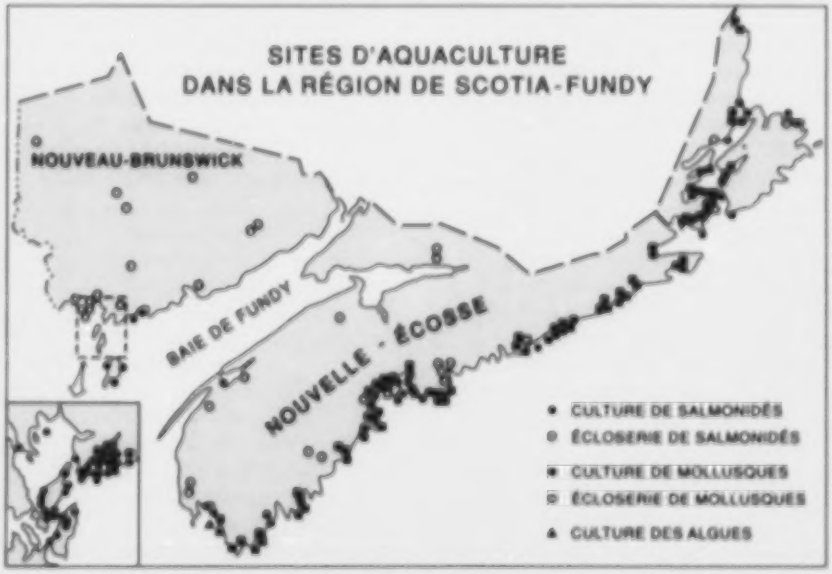


Fig. 1 Sites d'aquaculture dans la région de Scotia-Fundy.

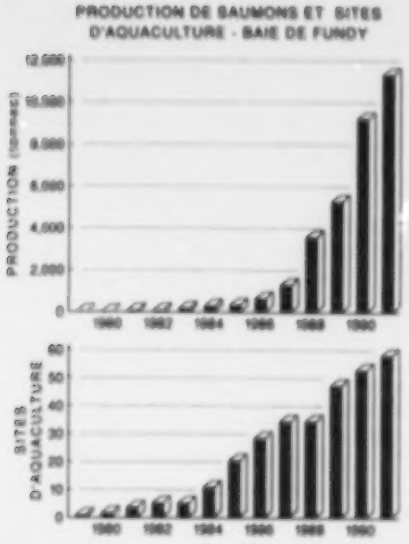


Fig. 2 Évolution de la production de saumons et du nombre de sites d'aquaculture dans la baie de Fundy.

Écosse) ainsi qu'à St. Andrews (Nouveau-Brunswick) se sont soldées par des échecs, les espèces d'élevage n'ayant pas survécu aux températures hivernales. En outre, la faillite, au début des années 1970, de la Seapool de Lake Charlotte (Nouvelle-Écosse), l'une des compagnies pionnières en aquaculture, a découragé les investissements dans cette industrie pendant plus d'une décennie. À la fin des années 1970, le Dr Arne Sutterlin, scientifique à la station de biologie de St. Andrews, et qui avait passé un an en Norvège pour étudier l'industrie de l'aquaculture de ce pays, a mis sur pied un projet pilote dans la baie de Fundy et a pu démontrer qu'il était possible de faire l'élevage du saumon en des endroits judicieusement choisis, afin d'éviter les températures extrêmes ayant causé la perte de certains élevages (Sutterlin *et al.*, 1989; Cook, 1988). Les statistiques relatives à la valeur de la pêche du saumon d'élevage provenant de tels sites dans la baie de Fundy parlent d'elles-mêmes (fig. 2 et 3).

La recherche scientifique a joué un rôle clé dans le développement de cette nouvelle industrie. Les études sur la physiologie du saumon à la station biologique de St. Andrews ainsi que celles portant sur les maladies et la nutrition des poissons au Laboratoire de recherche halieutique de Halifax ont permis un approfondissement des connaissances qui se traduit par des applications concrètes immédiates. La promulgation du Règlement sur la protection de la santé du poisson (Anon, 1977) ainsi que la mise sur pied en 1976 de la Section de la santé du poisson du MPT à Halifax, organisme destiné à fournir des services d'homologation et de diagnostics, ont également contribué de façon majeure au succès de cette industrie. En outre, grâce à la longue tradition des Maritimes en ce qui a trait aux programmes d'encouragement à l'exploitation du saumon de l'Atlantique, nous avons été en mesure de fournir des semences de haute qualité à l'industrie pendant la mise sur pied des écloseries. L'aide apportée par les programmes de santé et d'encouragement à l'exploitation du saumon est précisée en détail dans d'autres articles de cette Revue.

En 1974, le ministère signait un accord à long terme avec la Fédération du saumon de l'Atlantique, dans le but d'effectuer des recherches génétiques sur l'espèce et de choisir les variétés susceptibles d'en améliorer les caractéristiques en vue de l'élevage en pleine mer (ce système prévoyait de relâcher les saumoneaux puis de recapturer les saumons adultes à leur retour) et pour l'amélioration des stocks. En 1984, le Programme sur la génétique du saumon (PRGS) accroissait ses objectifs de manière à y inclure la recherche en vue de l'élevage en cages immergées dans la mer. On développe aujourd'hui trois principales variétés de saumons : l'une, destinée à l'industrie de l'élevage, et qui vise à obtenir de meilleures caractéristiques de croissance, une maturation retardée et une plus grande résistance aux maladies; une deuxième, qui vise à obtenir le retour du plus grand nombre possible, à l'état adulte, des saumoneaux lâchés en

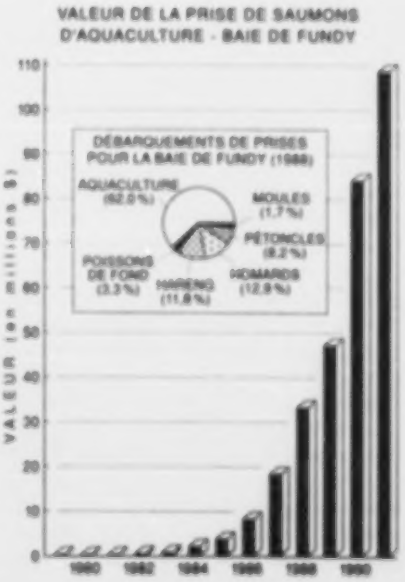


Fig. 3 Valeur de l'industrie de l'aquaculture du saumon dans la baie de Fundy, de 1979 avec extrapolation jusqu'en 1991.

pleine mer; et enfin une troisième espèce dite biotechnologique, qui permet de tester les nouvelles technologies, notamment le changement de sexe, la polyploïdie et la cryopréservation du sperme, en vue d'applications à venir. Le PRGS est dorénavant le principal éleveur dans le cadre du Programme de mise en valeur du stock des géniteurs de la New Brunswick Salmon Growers' Association.

Une autre initiative couronnée de succès a été la mise sur pied en 1985 de la ferme de démonstration et de mise en valeur des salmonidés (FDMVS) conçue sur le modèle des «fermes expérimentales» qui connaissent tant de succès en agriculture, et dans lesquelles on tente de résoudre les problèmes concrets ayant d'importantes incidences économiques (Cook, 1987). On a ainsi mis sur pied, au coeur de la région d'élevage de saumons, une ferme comportant 16 cages marines et un bureau/laboratoire sur la terre ferme. Des essais ont été effectués afin de déterminer les effets de la croissance et de la survie du saumon, pour des tailles et des âges différents des saumoneaux, différents dosages de nourriture, différents régimes, différentes densités de peuplement et d'autres pratiques d'élevage. Les données recueillies à la suite de ces essais ont fourni aux éleveurs de saumons de très précieux renseignements susceptibles d'améliorer leur élevage; ces données ont également permis de rassurer les institutions prêteuses et d'établir des standards quant aux rendements des élevages de saumon de l'Atlantique. Les installations expérimentales de la SDDF sont fortement mises à contribution par la nécessité de tester de nouveaux aliments économiques et des méthodes automatisées de distribution de nourriture, d'améliorer la qualité du produit et de fournir des installations de croissance fiables pour les projets de recherche financés par le ministère, notamment le SGRP. La New Brunswick Salmon Growers' Association a pris en main la gestion de la SDDF en 1989. L'approbation d'un nouveau site d'élevage est maintenant chose faite, et la prochaine phase du programme doit commencer en 1990.

La disponibilité des saumoneaux constitue le facteur clé dans l'élevage commercial du saumon. Le processus de smoltification, au cours duquel les parcs élevés en eaux douces s'adaptent physiologiquement à la vie en mer, est complexe; pour certains parcs, la smoltification a lieu après moins d'un an en eau douce, alors que pour d'autres, elle peut exiger plus de deux ans, selon leur bagage génétique et les conditions du milieu. La période pendant laquelle les saumoneaux peuvent avec succès passer en eau salée est très brève, puisqu'elle se limite habituellement à deux semaines au début de mai. Une proportion importante des

Fig. 4 Production expérimentale de saumoneaux 0+ à la station de biologie de St. Andrews.

saumons ayant franchi le stade de la smoltification n'arrive pas à s'adapter à l'eau de mer et reste à l'état de parcs pendant une autre année. Ces saumoneaux sont appelés saumoneaux 2+, puisqu'ils ont vécu pendant plus de deux ans en eau douce. Ils doivent donc vivre en écloserie pendant une année de plus, cette durée supplémentaire d'entretien se reflétant sur leur prix d'achat. À la station de biologie de St. Andrews, la recherche est axée sur les facteurs qui contrôlent la smoltification et sur l'exploration de moyens visant à accélérer son déclenchement et à allonger la courte période durant laquelle les saumoneaux peuvent passer en eau salée. Ces recherches ont abouti à la production expérimentale de saumoneaux dont la croissance a nécessité moins d'une année (saumoneaux 0+ – fig. 4).

La nourriture compte pour 1/3 des coûts de production dans l'élevage du saumon, en dépit des taux exceptionnels de rendement maintenant atteints, puisqu'on arrive à produire 1 kg de saumon avec 1,3 kg de nourriture. Le régime alimentaire humide de base qu'utilise la majorité des éleveurs de saumons a été mis au point à la suite de recherches effectuées aux laboratoires de recherches des pêcheries de Halifax. On a également mis au point des régimes alimentaires secs pour saumons, ainsi que des régimes spécialisés pour d'autres espèces à différents stades de développement, notamment les géniteurs, dont le régime alimentaire varie selon l'espèce. Des études actuellement en cours explorent le rôle joué par les vitamines dans la nourriture des poissons, comme composantes d'un régime alimentaire qui aide à prévenir les maladies. Ces études portent également sur la diète des saumons géniteurs. Le besoin d'informations touchant la nutrition du saumon ne sera jamais comblé, puisque la viabilité économique de l'industrie dépend des coûts, de la disponibilité et du rendement de cette alimentation.

La croissance rapide de l'élevage du saumon, plus particulièrement dans la baie de Fundy (fig. 2 et 3) a suscité des questions en ce qui a trait à l'impact de l'aquaculture sur l'habitat des poissons et sur le milieu marin. De plus amples recherches sont nécessaires pour connaître la quantité de saumons pouvant être élevés sans effets écologiques négatifs. Le niveau approuvé et actuellement atteint de production pour la baie de Fundy est de 4,4 millions de poissons. On comptait en 1990 3,1 millions de saumons d'élevage dans 1 000 cages marines réparties dans 47 sites loués, pour une superficie totale de 280 hectares, les cages occupant 18 hectares à elles seules. Pendant de nombreuses années, les scientifiques de la station de biologie de St. Andrews ont étudié l'écologie benthique, le phytoplancton ainsi que la qualité de l'eau dans les fermes à saumons de l'estuaire L'Étang. L'année 1988 marquait le début des études océanographiques et en 1989, cet estuaire, où l'on trouve le plus grand nombre d'installations de croissance du saumon dans l'est du Canada, a été choisi en vue de la réalisation d'un programme complet de recherche écologique, coordonné par les scientifiques de l'Institut océanographique de Bedford. Ces derniers comptent élaborer un modèle permettant de quantifier la capacité de l'estuaire L'Étang et d'énoncer des principes d'application générale.

Le succès de l'élevage du saumon a encouragé l'étude d'autres espèces marines dont l'exploitation présente un potentiel économique. Un nouveau programme de recherche portant sur l'élevage de poissons marins, plus particulièrement le flétan de l'Atlantique, a été lancé à la station de biologie de St. Andrews en 1987. L'élevage de ces espèces a d'ailleurs déjà fait l'objet d'un effort de recherche considérable, surtout en Norvège. Laissé à lui-même, le flétan se nourrit à de grandes profondeurs et ne produit que très peu de larves. Les scientifiques se sont donc attachés à prolonger la période de remontée et à résoudre les problèmes posés par l'alimentation des larves au moyen d'une nourriture synthétique. À St. Andrews, on a réussi à recueillir et à conserver des géniteurs, dans une installation récemment construite à cette fin; des expériences sur le frai et l'incubation des saumons à leur premier stade de vie doivent commencer prochainement. Des expériences exploratoires sur la conservation de flétans juvéniles dans des barrages à harengs modifiés ont remporté un certain succès, et des études préliminaires sont en cours en ce qui a trait au bar rayé, à la poule d'eau et à l'anguille.

Élevage des coquillages

Quatre espèces de mollusques sont en cours d'élevage dans la région de Scotia-Fundy. Il s'agit de l'huître américaine (*Crassostrea virginica*) et de la moule bleue (*Mytilus edulis*), soit deux espèces indigènes des Maritimes, de l'huître européenne (*Ostrea edulis*) ainsi que du pétoncle de baie (*Argopecten irradians*), lesquels ont été introduits dans la région. Des méthodes d'élevage pour deux autres espèces indigènes, soit le pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*) et la palourde (*Mercenaria*), sont en cours d'élaboration.

La moule bleue constitue le coquillage dont l'élevage est le plus répandu dans la région de Scotia-Fundy. Des recherches visant à déterminer la nature de deux variétés différentes de moules qui coexistent dans les eaux de la Nouvelle-Écosse (fig. 5) sont actuellement en cours. Une de ces variétés, que l'on croit être *Mytilus trossulus*, présente une croissance plus lente et une taille maximale inférieure, alors que sa coquille casse plus facilement lors du dégrapage, du tri et de l'emballage. Les résultats de ces recherches ont exercé une forte influence sur l'industrie, puisque les méthodes de cueillette de la semence, de ressemage et de récolte doivent être modifiées pour éliminer le travail inutile et les investissements improductifs et afin de réduire les pertes qualitatives et quantitatives entraînées par le bris des coquillages au moment de la récolte.

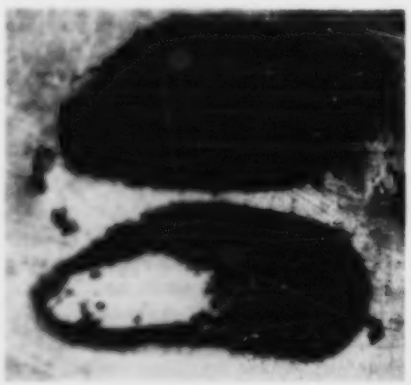


Fig. 5 Deux variétés de moules en croissance dans les eaux de la Nouvelle-Écosse. En haut : Mytilus edulis. *En bas :* Mytilus trossulus.

Le pétoncle de baie, espèce nouvellement introduite, ne peut être produit qu'à partir de semences obtenues en écloserie et ne donne qu'une seule récolte par an. Il s'agit du seul coquillage d'élevage qui n'expose pas les producteurs à risquer la perte de leur stock au cours de l'hiver. Un scientifique du MPO-Région du Golfe, étudie la possibilité qu'un parasite puisse être transmis de cette espèce à d'autres espèces sauvages et cultivées de pétoncles. Les résultats de ces recherches serviront de base à l'élaboration de lignes directrices pour d'éventuels transferts de ces espèces dans de nouvelles fermes de croissance. D'autres projets portant sur le pétoncle de baie visent à améliorer la diversité génétique et la vigueur du stock des géniteurs. Les pétoncles de baie sauvages importés de la région de Cape Cod au cours de l'été 1989 ont été élevés en quarantaine. Ce projet avait comme objectif de peupler les écloseries de coquillages de nouvelles générations de pétoncles de baie exempts de maladies, d'organismes nuisibles et de parasites. Jusqu'à présent, certains parents ont produit jusqu'à cinq pontes ayant donné des larves; les juvéniles issus de ces larves mesuraient déjà 5 mm à la fin de janvier 1990. Si ces derniers s'avèrent exempts de maladies et de parasites, ils seront ajoutés au stock de géniteurs existant.

Il est indispensable de disposer de sources fiables de semences saines pour réussir l'élevage de n'importe quelle espèce. Jusqu'à une date relativement récente, des semences prélevées sur les stocks à l'état sauvage constituaient l'unique source disponible. La cueillette de semences sauvages ne permet pourtant que l'élevage de l'huître américaine et de la moule bleue; il est également impossible de prédire la quantité de semences que l'on peut obtenir de cette façon et leur qualité varie d'une année à l'autre, en fonction des conditions météorologiques et d'autres facteurs environnementaux. Par contre, les écloseries de coquillages peuvent heureusement fournir des semences de diverses espèces à des niveaux de qualité qui permettent aux entreprises d'aquaculture d'établir leurs plans de production, de financement et de mise en marché sans avoir à s'inquiéter des risques d'échec inhérents à l'utilisation de semences sauvages. Les scientifiques peuvent dorénavant faire porter leurs efforts sur l'accroissement de l'adaptabilité des semences aux conditions des fermes d'élevage, grâce aux recherches qu'ils mènent sur la sélection et l'amélioration des géniteurs. Ces recherches peuvent également conduire à une amélioration du régime alimentaire permettant le conditionnement des géniteurs avant la reproduction, ainsi qu'à l'amélioration de la croissance des larves et des juvéniles et à une augmentation de la taille et de la qualité des semences au moment de leur transfert dans les installations de croissance. Il devrait s'en suivre une croissance plus rapide et une meilleure survie durant les stades de croissance, ainsi qu'un accroissement du rendement et des profits des éleveurs. Un nouveau programme de nutrition des mollusques, axé sur ces objectifs, vient d'être mis en oeuvre. Ce programme prévoit l'utilisation de techniques d'encapsulation de microparticules afin d'élaborer des aliments conformes aux besoins des mollusques d'élevage, pour chaque stade de leur croissance.

Les scientifiques ne peuvent évidemment pas prévoir tous les besoins; ils doivent à l'occasion réagir à des situations imprévues et trouver des solutions à de nouveaux problèmes. La prolification du *Nitszchia pungens*, qui a causé la crise de la contamination par l'acide domoïque des moules à l'automne de 1987, à donné lieu à une demande d'information d'une ampleur inattendue. On doit notamment connaître le taux d'accumulation de cette toxine dans les tissus de plusieurs espèces de coquillages, ainsi que son taux d'élimination, de manière à pouvoir éliminer tout risque pour le consommateur. Les résultats obtenus jusqu'à présent démontrent que l'acide domoïque peut être éliminé très rapidement et que des méthodes efficaces d'épuration sont possibles (fig. 6). De tels renseignements sont d'une importance capitale pour les consommateurs, les distributeurs et les producteurs de coquillages, et plus particulièrement pour les éleveurs actuels ou éventuels des pétoncles de baie, cette espèce ne pouvant être mise en marché que pendant une courte période au cours de l'automne. Cette recherche interactive, menée en collaboration avec la Région du Golfe, porte notamment sur la moule bleue et sur le pétoncle

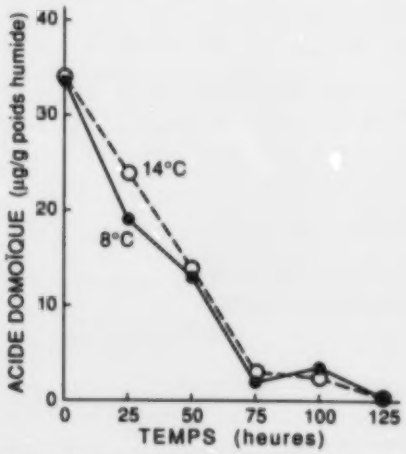


Fig. 6 Élimination de l'acide domoïque de moules contaminées naturellement à 8°C et 14°C.

de baie; elle englobera bientôt d'autres espèces commerciales.

Matière à réflexion

Les besoins d'informations et de recherches suscités par le dynamisme de l'industrie de l'aquaculture dépassent constamment notre capacité à fournir une telle information. D'importants défis scientifiques s'imposent toujours à l'attention des chercheurs. Il faut notamment évaluer la capacité de nos estuaires et de nos baies à assurer le mouvement et l'accueil de diverses espèces. Les connaissances acquises doivent également servir à élaborer des lignes directrices sur l'exploitation de sites d'élevage, de manière à ce que les biomasses de culture restent à des niveaux compatibles à la capacité d'absorption des écosystèmes. Les méthodes de culture et d'élevage doivent également être optimisées pour assurer aux producteurs de bonnes marges de profits, pour leur permettre d'accroître leur compétitivité et d'abaisser leurs coûts de production à un niveau qui permette l'établissement d'entreprises de traitement rentables. Les exigences environnementales relatives aux espèces cultivées et aux nouveaux candidats à l'élevage doivent être définies en fonction des sites disponibles. Les méthodes de transfert doivent avoir une base scientifique, de manière à minimiser les risques de transmission de maladies, d'organismes nuisibles et de parasites lors du déplacement de stocks d'aquaculture d'une écloserie à l'autre et vers les sites d'élevage. Ce ne sont là que quelques exemples des besoins actuels en matière de recherches en aquaculture; cette liste est évidemment loin d'être exhaustive.

L'élevage des poissons et des coquillages soulève les mêmes questions scientifiques, qui nécessitent toute notre attention. L'impact des biomasses de cultures et des méthodes d'élevage sur les écosystèmes hôtes doit être contrôlé, les résultats de ces contrôles servant à élaborer des modèles de prévision. La connaissance de ces effets et la capacité de les prévoir sont d'une importance cruciale pour le pêcheur qui craint leurs conséquences négatives sur les stocks naturels, pour les éleveurs potentiels qui doivent prendre des décisions de gestion ou d'investissement, pour les décideurs responsables des ressources des zones côtières et pour les gestionnaires des projets de développement financés à même les fonds publics. Les nouvelles demandes de location de sites se heurtent souvent à une forte opposition de la part de groupes d'intérêts locaux, de propriétaires de maisons, de pêcheurs, de marins, etc. Une telle opposition est souvent fondée sur la crainte injustifiée que l'exploitation proposée fasse baisser la valeur - esthétique ou autre - de l'emplacement choisi

ou des propriétés, qu'elle entrave la navigation ou qu'elle nuise aux pêcheries existantes. Le milieu scientifique peut alors intervenir en assurant une plus grande diffusion de l'information disponible et en complétant cette information au besoin. Les partisans de l'aquaculture auront plus facilement gain de cause si le public est bien renseigné et peut ainsi prendre à coeur ses propres intérêts.

L'industrie de l'aquaculture illustre de façon éloquente comment la combinaison du savoir scientifique et de la technologie a permis de réaliser des progrès économiques majeurs dans le secteur des pêcheries. Et ce progrès pourrait n'être qu'un début. L'élevage des poissons marins est en effet une industrie vouée à un grand avenir, sous réserve qu'elle bénéficie du progrès des connaissances biologiques. La rareté du poisson et la concurrence croissante des pêcheurs d'autres pays contribuent à déstabiliser l'économie de nombreuses régions rurales et à placer un grand nombre de personnes dans des conditions difficiles. L'aquaculture a justement le mérite de pouvoir augmenter la quantité des espèces traditionnelles et de créer les emplois et la stabilité économique qui font cruellement défaut. Le succès de l'élevage du saumon démontre que les efforts scientifiques se traduisent par des avantages socio-économiques tangibles. Nous devrons nous efforcer de prévoir les efforts de recherche scientifique qui seront nécessaires pour que l'aquaculture apporte une contribution majeure à la revalorisation des pêcheries de la région Atlantique. Nous devons cependant admettre que la demande sans cesse croissante d'information sur l'élevage des poissons et des coquillages, sur la santé et sur l'habitat des poissons et sur l'interaction de l'élevage avec les stocks sauvages ont poussé presque à sa limite notre capacité de réponse. Nous sommes cependant conscients qu'un débit ininterrompu de nouvelles informations est indispensable à l'expansion et au développement de l'aquaculture. Le défi que nous devons relever consiste à trouver le moyen de satisfaire à ces demandes sans cesse renouvelées.

Références bibliographiques

ANON. 1977. Règlement sur la protection de la santé des poissons. Guide de procédures. Ministère des pêches et de l'environnement. Publications diverses spéciales 30, Ottawa: 36 p.

COOK, R.H. 1987. Salmonid demonstration farm: Helping aquaculture in the Bay of Fundy. Bull. Aquac. Assoc. Canada 87-3:34-38.

COOK, R.H. 1988. Salmon aquaculture in the Bay of Fundy: A quiet success. Bull. Aquac. Assoc. Canada 88-2:28-40.

DUNFIELD, R.W. 1985. The Atlantic salmon in the history of North America. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 80:181 p.

LAVOIE, R.E. 1989. Culture of the American oyster, *Crassostrea virginica*. In: A.D. Boghen (éd.). Cold-water aquaculture in Atlantic Canada. Can. Inst. Res. Reg., University of Moncton, Moncton, N.-B.:124-155.

MATHIESON, J.A. 1912. Oyster fishery of Prince Edward Island. In: Sea-Fisheries of Eastern Canada, Commission of Conservation. Mortimer Co., Ottawa.

NETTLE, R. 1857. The salmon fisheries of the St. John. Lovell, Montreal.

SUTTERLIN, A.M., E.B. HENDERSON, S.P. MERRILL, R.L. SAUNDER, et A.A. MACKAY. 1981. Salmonid rearing trials at Deer Island, New Brunswick, with some projection on economic viability. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1011:28 p.

La santé du poisson en aquaculture

J. W. Cornick et G. Olivier

J. W. Cornick et G. Olivier

Dans son sens le plus large, le terme santé englobe tous les aspects du bien-être d'une espèce, y compris son état physiologique et nutritionnel, ainsi que la présence ou l'absence de maladie infectieuse (Meyer *et al.*, 1983; Post, 1987). Dans les Maritimes comme dans d'autres régions, la majeure partie des informations dont on dispose au sujet de la santé d'une espèce aquatique porte sur les espèces qui font l'objet d'un élevage intensif, parce que celles-ci sont plus faciles à étudier. On a accumulé de nombreuses données sur la santé des poissons d'élevage afin de satisfaire aux programmes, politiques et règlements en rapport avec la lutte contre les maladies.

De toutes les pertes que subissent les installations d'aquaculture, celles qui sont causées par des maladies infectieuses sont probablement les plus prononcées et elles sont indubitablement les plus coûteuses. En effet, en plus de la valeur du poisson qui est emporté chaque année par la maladie, il faut tenir compte des sommes importantes qui sont consacrées à la prévention et au traitement des maladies. Dans les Maritimes, des estimations prudentes situent les pertes liées à la maladie à un maximum de 40% dans certaines installations piscicoles. Il va sans dire que la maladie frappe principalement les régions où l'aquaculture est particulièrement développée. Les infections se propagent le plus souvent à l'occasion d'un transfert de poissons entre des installations.

Cet article examinera les méthodes employées par le Laboratoire de recherche halieutique de la Direction générale des sciences biologiques du ministère des Pêches et

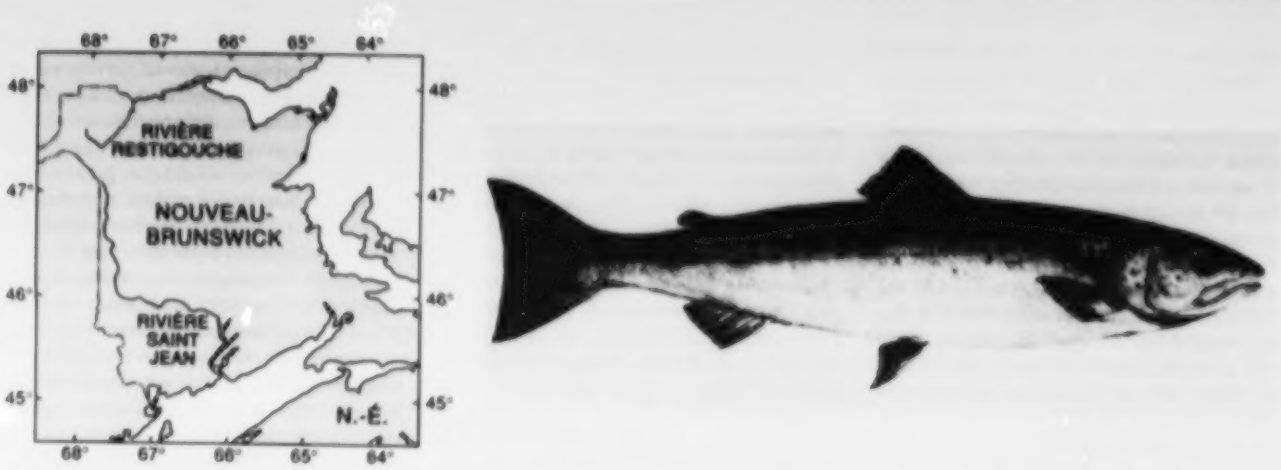


Fig. 1 Cette carte montre les rivières Saint Jean et Restigouche, au Nouveau-Brunswick, où la furonculose typique est endémique. À droite, on peut voir un saumon de l'Atlantique sain ayant atteint son plein développement.

Océans (MPO) pour le diagnostic des maladies qui affectent actuellement, dans les Maritimes, les installations piscicoles, la lutte contre celles-ci et la recherche à leur sujet.

Les maladies

Les principales maladies touchant les espèces élevées dans les installations piscicoles des Maritimes sont notamment les furonculoses bactériennes, la maladie rénale bactérienne (MRB), la vibriose et, dans une moindre mesure, la maladie bactérienne de la bouche rouge (MBR) (Cornick, 1990). Dans les écloseries d'eau douce, ce sont la furonculose, la MRB et la MBR qui font le plus de ravages. Les poissons élevés en cage en milieu marin sont quant à eux surtout affectés par la vibriose, la furonculose et la MRB. La prévalence des maladies varie selon les provinces (c'est au Nouveau-Brunswick qu'elle est la plus marquée), ce qui reflète de façon générale la proportion relativement forte de transferts qui caractérise les activités piscicoles.

Des cas de furonculose typique n'ont été identifiés qu'au Nouveau-Brunswick, où ils se sont produits aussi bien dans les installations d'eau douce que dans les fermes marines. L'espèce la plus fréquemment touchée est le saumon de l'Atlantique et la maladie est endémique dans plusieurs systèmes hydrographiques, notamment ceux des rivières Saint Jean et Restigouche (Fig. 1). Elle a été identifiée dans huit installations, et elle y a notablement contribué à limiter la production de smolts. Malgré les efforts qui sont déployés pour vérifier l'état de santé de tous les smolts transférés vers des installations marines, la furonculose est parvenue certaines années jusqu'aux cages des fermes marines de la baie de Fundy : une fois en 1985 à cinq sites, lorsque les tests utilisés n'ont pas permis de détecter l'infection chez certains individus et de nouveau, à trois sites en 1989, lorsque des smolts ont été accidentellement infectés par l'injection d'un vaccin commercial non stérile. En 1985, la maladie a été éradiquée grâce, dans un premier temps, à un médicament puis par l'élimination subséquente des poissons infectés. L'an dernier, on a lutté contre la maladie, à tous les sites, avec des médicaments provisoires, mais l'on n'est pas parvenu à l'éradiquer complètement.

La MRB clinique a été identifiée aussi bien dans des installations d'eau douce que dans des fermes marines au Nouveau-Brunswick et, dans une moindre mesure, en Nouvelle-Écosse. Cette maladie touche surtout le saumon de l'Atlantique, bien que les truites puissent être affectées. La maladie peut progresser rapidement en eau douce mais sa propagation tend à être plus lente en milieu marin, où elle persiste sous la forme d'une infection chronique à faible mortalité. Aucun vaccin n'est efficace et les antibiotiques ne donnent guère de résultats. De ce fait, toutes les épidémies qui surviennent en eau douce aboutissent normalement à la destruction du stock. Dans les cages placées en milieu marin, on est parvenu, dans le passé, à minimiser ses effets en séparant les classes d'âge et en inspectant soigneusement les smolts nouvellement arrivés. Cette maladie pose un problème particulièrement ardu car elle se transmet verticalement par les oeufs. À diverses reprises, cela a substantiellement contribué à limiter l'offre en oeufs de saumon au Nouveau-Brunswick. Avant 1987, la MRB clinique était relativement répandue dans les stocks de reproduction utilisés dans cette province en pisciculture marine et il fallait les soumettre à des examens attentifs pour éviter que la maladie se transmette par les oeufs. Récemment, il est devenu possible d'obtenir des stocks de reproduction plus sains et l'on a renforcé les programmes d'examen. Malgré cela, il a fallu mettre en quarantaine une grande installation de production de smolts infectée par cette maladie, ce qui a retranché près d'un demi million de smolts de la production. On a pu déterminer que l'épidémie était partie d'oeufs infectés qui n'ont pas été détectés dans le cadre du programme de surveillance des stocks de reproduction. En Nouvelle-Écosse, la maladie est confinée au Cap Breton, où elle n'affecte qu'une seule écloserie et une seule ferme marine utilisant des cages. Dans les deux cas, la propagation de la maladie a été maîtrisée et l'on s'efforce de l'éradiquer.

La vibriose est surtout répandue en milieu marin, où elle frappe les saumons et les truites. Les biotypes *Vibrio anguillarium* 01 et 02 ont été associés à des flambées de cette maladie dans les Maritimes. Avant 1983, la maladie qui touchait le saumon était principalement associée avec le biotype 01 mais, depuis 1985, le biotype 02 en est l'agent exclusif. Il est généralement possible de contenir la maladie par la chimiothérapie ou les vaccins. Toutefois, les souches développent régulièrement une résistance aux antibiotiques, ce qui oblige à changer périodiquement de drogue. Au début, le traitement était surtout à base d'oxytétracycline mais, depuis une date récente, on emploie de préférence de l'acide oxolinique. Les vaccins disponibles sont demeurés relativement efficaces contre la vibriose jusqu'à ce qu'une nouvelle souche apparaisse récemment. Un nouveau vaccin basé sur cette souche vient d'être introduit et il semble donner de meilleurs résultats.

La MBR prédomine surtout en eau douce chez le saumon et la truite mais un poisson infecté peut la répandre dans le milieu marin.

Elle a été isolée chez le saumon en Nouvelle-Écosse et au Nouveau-Brunswick, généralement en l'absence de tout symptôme clinique. En 1987, elle a cependant provoqué deux graves épidémies en Nouvelle-Écosse : elle a occasionné une forte flambée chez le saumon et la truite au Cap Breton, ce qui a en définitive obligé à détruire un grand nombre de poissons, et elle a été à l'origine de lourdes pertes dans les smolts de saumon d'un établissement de recherche. Cette maladie répond bien à des traitements à l'oxytétracycline.

D'autres maladies affectent les poissons d'élevage de la région mais elles présentent moins d'importance. Le virus de la nécrose pancréatique infectieuse (VNPI) se retrouve chez diverses espèces de poissons des trois provinces, mais généralement uniquement à l'état latent et il n'entraîne pas de pertes notables. D'autres maladies opportunistes ou saisonnières mineures comme des infections myxobactéridées ou des protozoaires parasites (*Costia* et *Hexamita*) se manifestent aussi parfois.

Diagnostic

Il est essentiel d'offrir des services de diagnostic à toutes les industries aquicoles en cours de développement (Cornick, 1989). En 1976, le MPO a créé à Halifax un laboratoire de diagnostic au sein de son Service de la santé des poissons afin de fournir, dans la mesure où les ressources le permettaient, des services de diagnostic et de consultation à l'industrie de l'aquaculture qui s'implantait alors dans la région.

La croissance de ces services n'a pas suivi le rythme de l'expansion prise par l'aquaculture. Entre 1976 et 1986, le laboratoire du MPO est demeuré le seul endroit de la région où l'on pouvait obtenir des services de diagnostic. Durant cette période, la demande pour de tels services a été multipliée par dix. En collaboration avec le MPO, le ministère des Pêches et de l'Aquaculture du Nouveau-Brunswick a mis sur pied, en 1986, un service de diagnostic/vulgarisation à St. Stephen pour répondre à la demande émanant de l'industrie de l'aquaculture de la baie de Fundy, alors en pleine expansion. Un autre important service de diagnostic a été lancé en 1986 avec la formation d'un service de la santé des poissons au nouveau collège de médecine vétérinaire de l'Atlantique, à l'Île-du-Prince-Édouard. En 1987, le Conseil de la recherche et de la productivité du Nouveau-Brunswick a entrepris de fournir de tels services à partir de Fredéricton et, en 1989, un autre nouveau venu, Moore-Clarke, dont les locaux sont situés à St. Andrews au Nouveau-Brunswick, a commencé à fournir des services de consultation et de diagnostic à ses clients de la région.

L'accroissement du nombre d'organismes qui assurent des services de diagnostic présente certains avantages très précis pour le développement de l'aquaculture dans la région. L'éleveur bénéficie maintenant d'une gamme plus complète de compétences; les laboratoires de diagnostic peuvent s'échanger l'information, ce qui minimise les chevauchements et stimule l'efficacité; il est possible d'amener un plus grand éventail de disciplines à étudier les problèmes de pathologie; les spécialistes du diagnostic ont davantage d'occasions de porter des cas à l'attention de collègues et de les consulter; et l'inventaire des maladies que prépare le MPO pour la région profite d'un plus grand nombre de sources d'information.

En aquaculture, le domaine des diagnostics pose cependant certains problèmes. Il est nécessaire d'élaborer des directives au sujet de la diffusion des informations contenues dans les diagnostics confidentiels; tous ceux qui posent des diagnostics devraient être tenus de déclarer immédiatement les maladies graves; les techniques de diagnostic devraient être normalisées afin de simplifier l'interprétation des informations que s'échangent les laboratoires; et il faudrait que certaines techniques de diagnostic, difficiles à interpréter et actuellement employées (p.ex. l'examen par fluorescence des anticorps de la MRB dans les tissus) fassent l'objet de recherches plus poussées. Néanmoins, quels que soient les problèmes actuels, l'avenir du diagnostic apparaît prometteur.

La recherche

Les maladies des poissons peuvent tenir à plusieurs agents biologiques et microbiologiques (bactéries, virus et parasites), à des problèmes de nutrition (p.ex. carence en vitamines) et à des facteurs propres au milieu (température, pollution, etc.). Les recherches en ichtyopathologie englobent deux grands domaines. Le premier est l'étude du pathogène même, qui suppose son identification, celle de l'espèce de poisson affectée ainsi que celle de l'évolution de la maladie, et la comparaison des différentes souches de l'agent. Nos études ont principalement porté sur la bactérie *Aeromonas salmonicida*, la cause de la furonculose, une maladie répandue chez les salmonidés des Maritimes. Même si les recherches sur cet agent pathogène se poursuivent depuis quarante ans dans le monde entier, bien des questions demeurent à résoudre, probablement parce que la virulence (la faculté qu'a un agent pathogène de tuer son hôte) de cet agent est multifactorielle et complexe. Nous savons qu'il peut produire plusieurs toxines qui entraînent de graves dommages chez l'hôte, mais nous ne connaissons toujours pas avec exactitude le mécanisme qui aboutit à ce résultat. Nos analyses ont mis en lumière un facteur produit par cette bactérie qui n'avait pas encore été décrit. Nous avons constaté que les bactéries vivantes de *A. salmonicida* peuvent détruire les cellules phagocytaires (macrophages) des poissons. Nous ne savons pas précisément comment cela se produit mais un tel pathogène dispose ainsi d'un avantage déterminant sur son hôte puisque la phagocytose (une fonction biologique importante des macrophages) constitue l'un des principaux mécanismes de défense des poissons contre la maladie.

La résistance aux antibiotiques des diverses souches, couplée avec l'utilisation de bactériophages de *A. salmonicida* (des virus qui infectent les bactéries), nous ont permis d'étudier l'épidémiologie de la furonculose dans les Maritimes depuis 1983. Nous avons montré que cette maladie est répandue, au Nouveau-Brunswick, chez les poissons sauvages du bassin des rivières Saint Jean et Restigouche et que les écloseries qui utilisent l'eau de ces rivières risquent donc d'être affectées par la maladie. Nous avons confirmé que, du moins dans les Maritimes, la furonculose est souvent transmise par des porteurs sains, c'est à dire par des poissons qui sont effectivement porteurs du pathogène mais qui ne présentent pas de symptômes de la maladie et qui semblent sains s'ils sont examinés grâce à des techniques bactériologiques normales. Ces constatations nous ont amenés à recourir à un programme qui se fonde sur l'utilisation de corticostéroïdes (des substances qui déprimment le système immunitaire et permettent ainsi à la maladie de se développer) et sur des stress (élévation de la température de l'eau) pour dépister les individus porteurs avant que les poissons ne soient transférés dans des cages placées en milieu marin. En vérifiant le profil de résistance aux antibiotiques d'isolats de *A. salmonicida* au cours des dix dernières années, nous avons également constaté une certaine résistance de ces bactéries à l'oxytétracycline et à l'acide oxolinique, les antibiotiques les plus couramment employés pour traiter cette maladie. Un programme de surveillance a donc été instauré et la résistance aux antibiotiques des isolats est maintenant régulièrement vérifiée.

Toutes les recherches décrites jusqu'à présent ont porté sur des souches de *A. salmonicida* typiques représentant un groupe très homogène d'organismes qui infectent habituellement les salmonidés; d'un point de vue taxonomique, on les décrit comme des souches de la sous-espèce *salmonicida* de l'espèce *A. salmonicida*. Ces dernières années, on a découvert de plus en plus de cas où des souches atypiques de *A.salmonicida* (sous-espèces *achromogenes* et *nova*) provoquent la maladie chez des salmonidés aussi bien que

chez des poissons d'autres familles. On a pu constater que les souches atypiques de *A. salmonicida* sont biochimiquement très hétérogènes et il sera donc peut-être nécessaire de réévaluer leur position taxonomique. Lorsque l'on a examiné la virulence de certains de ces isolats, certains se sont révélés pratiquement aussi virulents que les isolats typiques. Nos constatations indiquent également que certains isolats typiques sont d'origine marine et que ces souches pourraient donc créer des problèmes à l'industrie aquicole.

Le deuxième grand domaine de recherche en ichtyopathologie est l'étude du système immunitaire de l'hôte. Les recherches à ce sujet prennent du retard, alors même qu'elles sont manifestement nécessaires si l'on veut pouvoir découvrir des vaccins plus efficaces. Pour comprendre à quel point ce type de recherche est indispensable, il suffit d'examiner la situation qui prévaut sur le plan des vaccins commerciaux contre diverses maladies bactériennes. Ce qui est surprenant, c'est que même si nous savons que les vaccins peuvent conférer une protection, nous ignorons en fait de quelle façon ou, plus précisément, quelle branche du système immunitaire ils stimulent. Dans ce type de recherche, nous cherchons à déterminer comment les poissons réagissent à différents antigènes et à dépister quel aspect du système immunitaire est stimulé grâce à une méthode donnée de vaccination. Des années durant, on a cru que les vaccins pouvaient activer la production d'anticorps (immunité humorale). Cette réaction constituait un indicateur fiable de la protection conférée. Mais nos constatations ainsi que celles d'autres chercheurs remettent cette idée en question. Dans le cas de la furonculose, nous avons montré qu'il est possible d'obtenir une très bonne protection en stimulant le système immunitaire cellulaire. Ces résultats indiquent clairement que nous avons besoin de mieux comprendre le système immunitaire des poissons pour pouvoir améliorer l'efficacité des vaccins.

La lutte contre les maladies

Deux volets importants de la lutte contre les maladies sont la réglementation sanitaire et les programmes de gestion de la santé des poissons (Cornick, 1987). Dans le cadre du premier, on s'efforce de circonscrire la propagation géographique de la maladie en limitant les transferts de stocks infectés. C'est une responsabilité qu'assument généralement les gouvernements en promulguant des règlements et des politiques et en instaurant des programmes de lutte contre les maladies qui se traduisent notamment par des inspections sanitaires régulières. Le deuxième met entre autres en jeu les programmes de gestion de la santé des poissons des éleveurs, et plus précisément l'élevage sélectif, les vaccinations et la chimiothérapie qui ont pour but de prévenir l'apparition des maladies dans une installation donnée ou de lutter contre les épidémies qui se sont déclarées.

Dans les Maritimes, la diffusion des épidémies par l'intermédiaire des transferts de stocks est contenue grâce à divers programmes qui sont le fait du seul gouvernement fédéral ou qu'il applique en collaboration avec la province (Cornick, 1989). Tous supposent que les stocks soient inspectés et déclarés sains avant qu'un transfert soit autorisé. Les services de diagnostic sur lesquels ces programmes reposent sont assurés par le laboratoire du MPO à Halifax et celui du ministère des pêches et de l'aquaculture du gouvernement du Nouveau-Brunswick, qui est situé à St. Stephen.

Le Règlement national sur la protection de la santé des poissons, qui a été introduit par le MPO en 1984 et qui est actuellement appliqué par ce ministère, limite les risques d'introduction d'un certain nombre de maladies graves à partir de l'étranger ou d'autres provinces. On parvient à ce résultat grâce à un système d'homologation et de permis dans le cadre duquel le laboratoire du MPO procède à des inspections dans les installations piscicoles. Depuis 1970, aucune maladie affectant gravement les poissons n'a été introduite ou propagée dans les Maritimes, et cela tient dans une large mesure à l'existence de ces règlements.

La Politique régionale sur la santé des poissons dans les provinces maritimes est administrée par la région Scotia-Fundy du MPO dans le cadre d'un accord avec la région du Golfe du MPO et en collaboration avec les gouvernements provinciaux et le secteur privé. Cette politique permet de restreindre la propagation entre les bassins versants des Maritimes de trois maladies importantes - furonculose, MRB et MBR - dont l'aire de distribution est limitée. Tous les lots de poissons qui sont sur le point d'être transférés doivent subir une inspection par les spécialistes du laboratoire du MPO. De plus, les poissons ne sont transférés qu'entre des bassins versants présentant des caractéristiques épidémiologiques similaires. Depuis 1983, aucune maladie n'a été propagée d'un bassin à un autre par des poissons inspectés en vertu de ce programme.

En 1985, la région Scotia-Fundy a mis sur pied, en collaboration avec le ministère des Pêches et de l'Aquaculture du Nouveau-Brunswick, deux programmes qui ont pour but de résoudre deux problèmes liés à des maladies spécifiques qui affectent l'industrie de l'aquaculture de la province. Les diagnostics nécessaires aux programmes sont effectués par le laboratoire du MPO à Halifax et par celui du ministère des Pêches et de l'Aquaculture à St. Stephen. Un programme de dépistage des porteurs de furonculose a été élaboré afin de restreindre la contamination des poissons élevés en cage en milieu marin par des smolts provenant d'installations situées en eau douce. Comme les techniques normales de culture microbiologique ne permettent pas de dépister cette maladie lorsqu'elle est à l'état latent, tous les smolts destinés à être élevés en cage subissent une présélection au moyen d'une technique spéciale d'immunosuppression. On a de plus institué un programme de surveillance de la MRB dans les stocks de reproduction afin de lutter contre la transmission de la MRB par les oeufs de saumon. On utilise une batterie de tests sensibles reposant sur la technique de l'immunofluorescence pour examiner la laitance de chaque saumon lors du frai. Les oeufs produits par un poisson qui s'est révélé positif sont éliminés. Initialement, les diagnostics nécessaires dans le cadre de ce programme étaient réalisés par les laboratoires du MPO et du ministère des Pêches et de l'Aquaculture mais, dernièrement, certains éleveurs ont pris la responsabilité de les confier à des laboratoires privés. De façon générale, ce programme s'est avéré efficace, même si l'on soupçonne que plusieurs récentes flambées de MRB sont dues à des défaillances de celui-ci.

La prévention est l'aspect le plus important des initiatives prises pour protéger la santé des poissons mais nous devons comprendre que, comme c'est le cas pour toute culture intensive, des épidémies peuvent survenir et que l'on dispose alors de plusieurs moyens d'intervention, notamment l'éradication, la vaccination et la chimiothérapie. Il n'est pas facile de choisir une méthode plutôt qu'une autre puisque ce choix doit être fonction d'un certain nombre de facteurs. Par exemple, s'il se confirme que l'on a affaire à une maladie exotique (une maladie dont on n'a jamais établi l'existence au Canada), on n'aura pas d'autre choix, dans la plupart des cas, que de l'éradiquer en détruisant l'intégralité des stocks touchés et en procédant à la désinfection totale de l'écloserie affectée par cette maladie.

Un bon élevage sélectif constitue la meilleure façon de se prémunir contre les autres types de maladies infectieuses que l'on retrouve un peu partout sur la planète mais, si une épidémie survient néanmoins, la vaccination et la chimiothérapie sont prises en considération. Et si un bon vaccin existe, les poissons devraient être vaccinés avant d'être placés dans un environnement où ils sont exposés à la maladie. Dans les Maritimes, on vaccine tous les smolts de saumon de l'Atlantique contre la vibriose avant de les transférer dans les cages des fermes marines parce que cette maladie est endémique en mer. Il arrive néanmoins que la maladie frappe et tue un cer-

tain nombre de poissons même s'ils ont été vaccinés. Dans ce cas, il n'y a qu'une seule solution : traiter les poissons avec un antibiotique, généralement en l'incorporant à leur alimentation. Il faut toutefois se souvenir que l'utilisation des antibiotiques doit être suivie de près et que l'apparition de souches résistantes est l'un des grands problèmes de la chimiothérapie. Ce qui précède ne représente qu'un résumé des options dont on dispose en cas d'épidémie, mais l'on doit se rappeler que chaque situation peut être différente et qu'il faut soigneusement peser son choix avant de l'arrêter.

Conclusion

Malgré l'expansion rapide que prend l'aquaculture dans les Maritimes, il semble que l'on parvienne à maîtriser les problèmes pathologiques auxquels on s'est trouvé confronté. Dans une large mesure, cela tient au fait que l'on a mis en oeuvre des stratégies efficaces de lutte contre les maladies, poursuivi la recherche sur celles-ci et fait progresser les moyens de diagnostic dont la région est dotée. Cela résulte également d'une franche coopération entre les gouvernements fédéral et provinciaux et le secteur privé.

Références bibliographiques

CORNICK, J.W. 1987. Contrôle de la santé et de la maladie des poissons. Dans : J.F. Roach (éd.). Atelier d'aquaculture du Canada atlantique - Comptes rendus de la série Enseignement général N° 5, Tome II, 191 p.

CORNICK, J.W. 1989. L'évolution des besoins en matière de diagnostic d'une industrie de l'aquaculture en voie de développement dans les provinces maritimes. Bulletin de l'Association de l'aquaculture du Canada, 89-3:122-124.

CORNICK, J.W. 1990. Survol de l'état sanitaire actuel du saumon atlantique d'élevage dans les provinces atlantiques du Canada. Dans : R.L. Sanders (éd.). Atelier Canada-Norvège sur l'aquaculture des poissons, 11-14 septembre 1989. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1761:25-29.

MINISTÈRE DES PÊCHES ET OCÉANS. 1984. Règlement sur la protection sanitaire des poissons; manuel de conformité. Publication spéciale diverse des services maritimes des pêches, 31 (rév.): 32 p.

MEYER, F.P., J.W. WARREN, et T.G. CAREY (éditeurs) 1983. A guide to integrated fish health management in the Great Lakes Basin. Great Lakes Fishery Commission, Ann Arbor, MI. Spec. Pub. 83-2:272 p.

POST, G. 1987. Textbook of fish health. TFH Publications, Neptune City, NJ:288 p.

Programmes des centres de pisciculture de la région

G. J. Farmer

G. J. Farmer

La section des poissons d'eau douce et anadromes de la Direction des sciences biologiques (Pêches et Océans Canada) exploite six centres de pisciculture dont la production annuelle s'élève à 1,7 millions de saumons atlantiques jeunes (*Salmo salar*). Ces saumons sont utilisés pour améliorer la qualité de l'espèce au profit des industries basées sur l'aquaculture au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse, ainsi que pour favoriser la recherche. Le saumon d'eau douce provient des centres de Yarmouth, Mersey, Coldbrook et Cobequid (Nouvelle-Écosse), et des centres de Mactaquac et Saint John (Nouveau-Brunswick). La moitié du nombre des jeunes saumons produits et distribués chaque année sont des tacons; et l'autre moitié sont des smolts. Ces derniers ont de 12 à 20 cm de long, et peuvent vivre dans l'eau de mer, tandis que les tacons ont moins de 12 cm de long et ne peuvent pas supporter l'eau de mer. Lorsque les tacons atteignent plus de 12 cm, ils deviennent des smolts et commencent à descendre les cours d'eau jusqu'à la mer. Ces dernières années, on a élargi et modernisé la plupart des centres, ce qui a permis de doubler la production de smolts en un an au lieu de deux comme auparavant.

Méthodes et installations de production du saumon : deux exemples

Centre de pisciculture de Mersey : Le Centre de pisciculture de Mersey est le plus grand centre d'élevage du saumon de la Nouvelle-Écosse; il est situé au bord de la Mersey, près de Liverpool. Le centre comporte 20 bassins de béton qui mesurent 7,6 m sur 7,6 m, et 16 autres qui mesurent 11 m sur 11 m (fig. 1). Les bassins ont des coins arrondis, contiennent 50 cm d'eau, et sont appelés

Fig. 1 Centre de pisciculture de Mersey.

«bassins suédois» par les salmoniculteurs. La production annuelle du centre est de 300 000 smolts d'un an. L'eau sort du bassin d'amont de Big Falls par des orifices jumelés et se dirige vers les bassins par gravité en traversant un tuyau en polyéthylène de 30 cm de diamètre. L'un des orifices est à 2 m de profondeur, et l'autre au fond du bassin d'amont, à une profondeur de 8 m. En surface, la température de ce bassin varie de 22 à 27°C durant l'été. C'est pourquoi l'eau froide est captée à 8 m de profondeur et alimente les saumons entre juin et septembre. L'eau de surface peut être également fournie par un tuyau de 30 cm de diamètre.

Les saumons adultes sont conservés au centre de Coldbrook (Comté de Kings) jusqu'en novembre, époque de la fraie (le personnel exprime manuellement les stocks d'oeufs et la laite); et les oeufs fécondés provenant de 12 stocks sont transportés au centre de Mersey. Les oeufs sont déposés sur des plateaux rectangulaires perforés qui sont placés dans des bacs en fibre de verre situés à l'intérieur du bâtiment de l'écloserie. L'eau qui alimente les auges n'est pas chauffée. Les oeufs sont pourvus d'yeux (c. à d. : les yeux des embryons deviennent visibles) au début de février. Ils sont alors transportés vers les bacs d'incubation garnis de couches de plastique. L'éclosion a lieu au début d'avril, et les saumons, appelés alevins à ce stade, restent plutôt inactifs dans leur substrat de plastique et utilisent efficacement leur substance vitelline pour croître. Le vitellus est absorbé vers la mi-mai; les jeunes saumons, qui pèsent 0,15 g chacun, sont alors transportés vers les bassins extérieurs de 7,6 m. Ces bassins contiennent 50 000 saumons qui, pendant le jour, sont soumis à un régime sec administré chaque demi-heure. À ce moment, la température de l'eau doit dépasser 10°C pour stimuler l'alimentation.

L'absorption d'aliments, le rendement de la conversion et la croissance des jeunes saumons sont au niveau maximal entre 15 et 18°C. À cause de l'emplacement du centre de Mersey et parce que l'eau peut être captée à diverses profondeurs du bassin en amont, les températures les plus favorables à la croissance des saumons existent pendant six mois de l'année (Goff et Forsyth, 1979). Entre mai et novembre, le nombre de saumons de chaque bassin est périodiquement réduit pour maintenir les densités désirées, et les 36 bassins sont utilisés pour la production de saumons. La densité de leur population est maintenue à 5 kg/m^2, et le débit de l'eau est maintenu à 1,5 L/kg de saumons par minute. Les petits saumons sont retirés du bassin en octobre et l'on y garde les 300 000 plus gros (soit 60%). Les saumons continuent de croître jusqu'en novembre; les températures tombent alors au-dessous de 10°C et atteignent 2°C en décembre. Les saumons pèsent en moyenne 45 g en avril ou mai; à cette époque, les tacons deviennent des smolts et sont distribués. Le centre de Mersey est unique en son genre, car on peut y produire une grande quantité de smolts d'un an sans devoir chauffer l'eau artificiellement pour accélérer le taux de croissance.

Le Centre de pisciculture de Mactaquac : Le plus grand et le plus récent barrage hydro-électrique de la rivière Saint John, au Nouveau-Brunswick, est terminé depuis 1968. Il est situé à 3 km en amont de Mactaquac et a créé un réservoir de 97 km de long. D'où la perte d'une vaste zone d'habitat de saumons et le risque d'élimination de population de poissons qui émigraient jusqu'alors vers des régions situées en amont du barrage de Mactaquac. On a donc intégré au barrage des installations de collecte de poissons, et l'on a construit le Centre de Mactaquac à 2,5 km vers l'aval, afin de

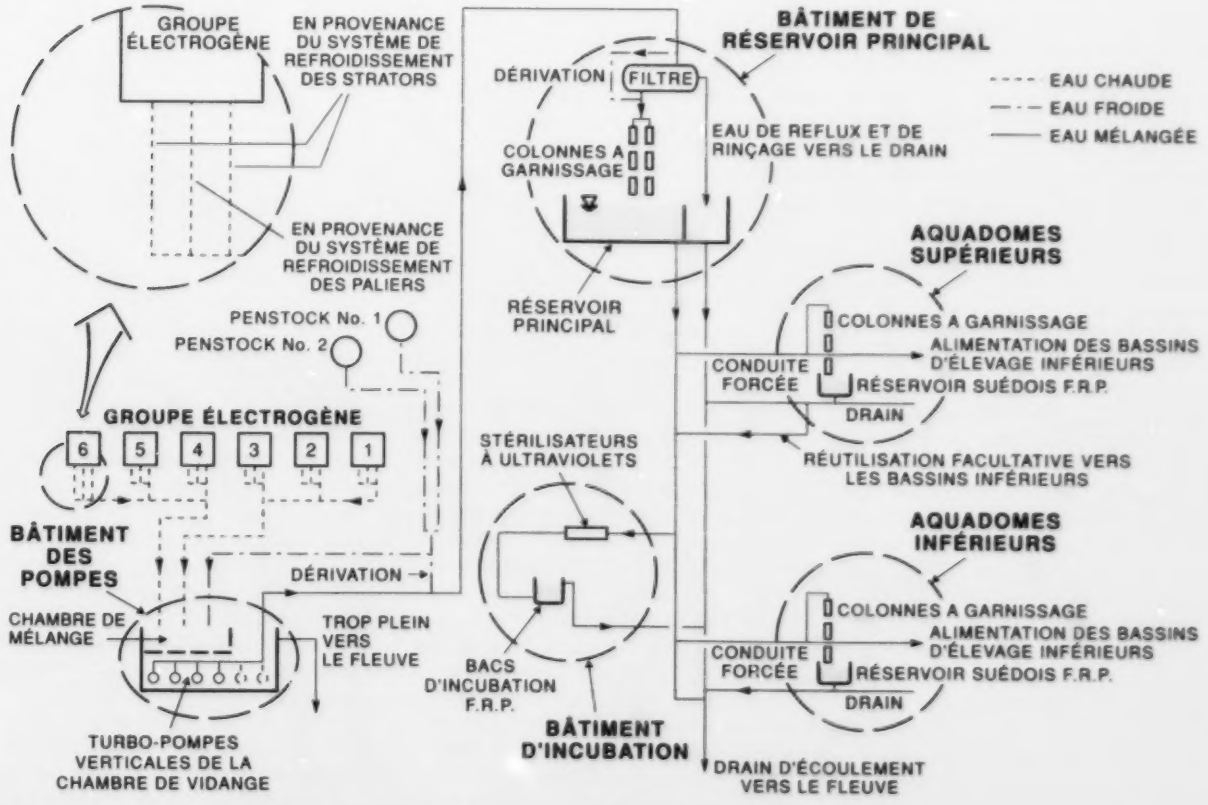


Fig. 2 Diagramme de fonctionnement de l'installation d'élevage accéléré, Centre de pisciculture de Mactaquac.

compenser la perte de l'habitat. Achevé en 1968, le centre pouvait produire 225 000 smolts de saumons atlantiques âgés de deux ans. La production d'une grande quantité de smolts d'un an était impossible, car les températures jugées optimales pour la croissance des saumons n'existaient que pendant 4 ou 5 mois par an. En 1983 et 1984, on a construit un centre d'élevage accéléré pour utiliser les eaux résiduelles chaudes provenant des génératrices de Mactaquac. La multiplication des oeufs et des alevins pourvus d'yeux est accélérée par l'utilisation de l'eau chaude, et les saumons commencent à s'alimenter au cours du mois d'avril, soit deux mois plus tôt que dans le passé.

Les eaux fluviales utilisées pour refroidir les paliers de butée et les stators des six groupes électrogènes sont recueillies dans deux conduites et se dirigent par gravité vers une station de pompage située à côté de l'usine génératrice (fig. 2). Une masse d'eau refroidie (c. à d. non réchauffée) provenant de deux des conduites forcées circule, également par gravité, dans une seule conduite, vers la station de pompage. Toute la masse d'eau chaude pénètre dans un caisson de mélange situé dans la station de pompage; l'admission de l'eau refroidie est régularisée par une vanne-papillon automatique actionnée par un contrôleur de température pneumatique. Le mélange d'eau chaude se dirige vers une chambre de vidange du bâtiment; il est ensuite pompé sur 200 m vers un réservoir d'amont par un certain nombre de pompes-turbines verticales. L'eau chaude qui pénètre dans le bâtiment du réservoir d'amont traverse un filtre à sable automatique et se dirige vers 30 colonnes à garnissage, avant de se déverser dans un réservoir d'amont en béton. Le filtre permet de réduire la concentration de solides en suspension, et les colonnes réduisent la pression totale du gaz. Ensuite, l'eau chaude circule, par gravité, vers le bâtiment d'incubation ou vers quatre aquadômes. L'eau (portée à 6°C) qui pénètre dans le bâtiment d'incubation traverse deux stérilisateurs à ultraviolets, puis un certain nombre de bacs d'incubation qui contiennent des oeufs et des alevins pourvus d'yeux. Les saumons sont retirés des bacs au début d'avril, et sont transférés vers des réservoirs en fibre de verre (3 m x 3 m) protégés par les aquadômes. Les quatre aquadômes sont des serres préfabriquées dont chacune contient 18 réservoirs de 3 mètres. Grâce à cette eau chaude (15°C dans ces installations), on obtient une production de 720 000 tacons de 2 g vers la mi-juin de chaque année, entre 67 et 71 jours après le début de l'alimentation. Les tacons sont ensuite transportés vers le centre de Mactaquac, où ils sont élevés dans des bassins extérieurs en béton. Le classement a lieu au cours de l'automne, et 400 000 saumons sont conservés pour être distribués au cours du printemps suivant lorsqu'ils sont devenus des smolts d'un an. L'utilisation de l'eau chaude des génératrices pour accélérer la croissance et la multiplication des saumons a permis de doubler la production de smolts au Centre de Mactaquac.

Programmes d'amélioration de l'élevage des saumons

Certaines populations de saumons originaires de la région de Scotia-Fundy ont diminué à cause de la surexploitation; et d'autres ont été réduites ou éliminées à cause des pertes qui ont affecté la capacité productrice d'habitats d'eau douce. En 1989, Watt a estimé que la capacité productrice des habitats de saumons atlantiques, dans l'est du Canada, a diminué de 16% depuis 1870, probablement à cause des pratiques agricoles, du détournement et de l'obstruction des cours d'eau, de la construction de digues et de l'acidification. Cette perte est particulièrement grave dans la région de Scotia-Fundy, où la capacité productrice a diminué de 50% (Watt, 1988). Résultat : la production naturelle de saumons atlantiques dans cette région ne répond pas aux demandes des pêches commerciales et récréatives. On a donc fermé les pêches commerciales de saumons et l'on a fixé des limites saisonnières et quantitatives à la pêche récréative.

Au cours du printemps de 1990, on a libéré 765 000 smolts d'élevage dans 28 des cours d'eau de la région (tableau 1). Dans la mesure du possible, les smolts libérés dans tel ou tel cours d'eau sont issus de poissons adultes originaires de ce cours d'eau. Les smolts émigrent vers la mer, où ils passent de un à trois ans; à l'âge adulte, ils reviennent frayer dans le cours d'eau où ils ont été libérés. Environ un tiers des saumons adultes qui reviennent chaque année dans la région existe grâce aux efforts entrepris pour améliorer l'élevage. Ces poissons adultes contribuent aux échappées de frai requises; autrement dit, ils font le nécessaire pour maintenir les populations de saumons dans les cours d'eau. En outre, ils contribuent à la pêche récréative, qui occupe 26 500 amateurs en Nouvelle-Écosse et au Nouveau-Brunswick. Ces pêcheurs consacrent environ 98 000 jours-lignes par an pour capturer 20 000 saumons adultes dans une centaine de cours d'eau de la région (O'Neil *et al.*, 1989).

Des étiquettes de carlin sont attachées à environ 10% des smolts libérés chaque printemps. Ces petites étiquettes de plastique indiquent une adresse de retour et sont fixées par un monofilament au-dessous de la base de la nageoire dorsale du smolt. Une récompense

Tableau 1

Smolts devant être libérés au cours de 1990

Côte du golfe du Saint-Laurent (Nouvelle-Écosse)	
Margaree	16 200
Cap Breton Est	
Grave rivière	18 400
Salmon River (Mira)	8 100
Côte Est	
Rivière St. Mary's	23 500
Rivière Liscomb	25 000
Rivière Moser	20 300
East Sheet Harbour	10 000
West Sheet Harbour	6 000
Rivière Musquodoboit	21 800
Sud-ouest de la Nouvelle-Écosse	
Rivière Sackville	10 000
Rivière Gold	15 300
Rivière Mushamush	10 000
Rivière La Have	40 000
Petite Rivière	10 800
Rivière Medway	50 400
Rivière Mersey	10 000
Rivière Clyde	10 000
Rivière Jordan	10 000
Rivière Tusket	45 100
Rivière Salmon (Digby Co.)	8 100
Partie haute de la Baie de Fundy	
Rivière Annapolis	15 300
Rivière Stewiacke	10 700
Sud-ouest du Nouveau-Brunswick	
Rivière Petitcodiac	10 000
Rivière Big Salmon	15 000
Rivière Hammond	21 200
Rivière Kennebecasis	10 000
Rivière Nashwaak	19 200
Rivière Saint John	295 000
Total (28)	765 400

de 10 $ est offerte pour le retour de chaque étiquette retirée d'un saumon adulte, et pour des renseignements sur la taille du saumon, et sur la méthode, l'heure et l'endroit de la capture. Le programme d'étiquetage nous permet de mieux comprendre les régimes de migration de divers stocks, la contribution fournie par ces stocks à diverses écloseries et les facteurs qui influent sur la survie et l'âge à maturité des smolts élevés dans les écloseries. Par exemple, leur survie est influencée par un certain nombre de facteurs, notamment leur taille, la formule et la qualité du régime alimentaire, les méthodes d'élevage, le moment de libération, le débit du cours d'eau, ainsi que par l'abondance et la répartition des prédateurs au moment de la libération. Les taux d'interception relevés dans les pêches commerciales à l'extérieur de la région varient selon les stocks de saumon et

dépendent de l'âge à maturité, du trajet suivi et de l'époque des migrations océaniques relativement à l'importance, à l'époque et à l'endroit des pêches côtières.

La principale zone d'alimentation maritime d'un grand nombre de nos stocks de saumons se trouverait dans la Mer du Labrador (Reddin, 1988). Les variations saisonnières de la répartition des saumons dans le nord-ouest de l'Atlantique seraient influencées par les températures à la surface de la mer.

Au printemps, la Mer du Sud du Labrador et autour du Grand Banc; en été, les saumons ne parvenant pas à maturité se dirigent vers le détroit de Davis, au large de la côte ouest du Groenland. Les saumons récoltés au Groenland sont ceux qui ont passé un an à la mer et seraient revenus lorsqu'ils seraient devenus des saumons de deux ans. Les pêches de Terre-Neuve et du Labrador capturent des saumons de tout âge en mer, tandis que les pêches côtières de la Nouvelle-Écosse et du Nouveau-Brunswick prennent essentiellement des saumons en voie de maturation ayant passé un ou deux ans en mer, lorsqu'ils reviennent vers leur cours d'eau natal. En revanche, les stocks provenant de la Baie supérieure de Fundy commencent par revenir pour frayer après avoir passé un an en mer; leur migration se cantonnerait à la Baie de Fundy, et, probablement, au Golfe du Maine.

Aquaculture du saumon

Le nombre d'exploitations maritimes de saumons qui fonctionnent dans la région de Scotia-Fundy est passé d'une seule en 1979 à 48 en 1989, et l'on a fait des demandes de baux pour d'autres sites. Au cours de cette période, on a exploité 20 couvoirs privés qui doivent fournir des smolts atlantiques aux exploitations maritimes. On prévoit que 3 millions de smolts seront vendus à des exploitations maritimes de la région au cours du printemps de 1990. La plupart de ces exploitations se trouvent dans la Baie de Fundy, le long de la côte du sud-ouest du Nouveau-Brunswick, et près des îles de Deer, Campobello et Grand Manan. Dans cette zone, les températures de l'eau s'échelonnent entre 5 et 13°C pendant au moins sept mois de l'année, et ne descendent pas normalement au-dessous de 1°C pendant l'hiver. Les saumons sont soumis à des régimes humides ou secs pendant leur séjour dans les cages marines, et leur poids atteint environ 5 kg en 18 mois. Le taux de mortalité moyen du saumon en cage est en train de diminuer; il était de 12% en 1987 (Cook, 1988). Une exploitation moyenne emploie huit personnes, possède 36 cages, et emmagasine de 2 500 à 3 500 smolts par cage. Les smolts coûtent 3 $ chacun, et les saumons adultes ont pu être vendus jusqu'à 13 $ le kilo (Cook, 1988). Au moment où nous écrivons ces lignes, le prix du marché a baissé jusqu'à 9,50 $ le kilo. Les principaux marchés de saumons d'élevage sont les grands centres urbains de l'est du Canada et de l'est des États-Unis. Il existe cinq exploitations de saumons en Nouvelle-Écosse : une à Shelburne Harbour, 2 à St. Margarets Bay, 1 à Denas Pond - relié au Lac Bras d'Or à Little Narrows - et la dernière se trouve à la centrale génératrice de Lingan, où les saumons sont élevés dans de l'eau de mer résiduelle chaude. En Nouvelle-Écosse, l'expansion de l'industrie est limitée, en partie, par l'impossibilité de repérer des sites protégés où les températures marines ne tombent pas, en hiver, au-dessous de -0,6°C, ce qui est mortel pour les saumons.

Au début des années 80, en pleine expansion de l'aquaculture des saumons, la plupart des smolts provenaient des centres d'élevage exploités par Pêches et Océans Canada (POC). Le nombre de smolts fournis par POC est passé de 10 000 en 1980 à 248 000 en 1988. La vente de smolts en 1988 comprenait 30% des smolts produits cette année par le ministère. De plus, en 1988, on a vendu 547 000 tacons à des écloseries privées de la région afin d'accroître l'approvisionnement en smolts aux exploitations maritimes de saumons. Les smolts fournis par des couvoirs du secteur privé ont généralement satisfait les besoins de l'industrie au cours des deux dernières années. POC a donc réduit ses ventes de smolts à l'industrie; en 1990, ces ventes représenteront environ 8% de la production de POC. Actuellement, l'aide accordée à l'aquaculture concerne principalement l'exploitation des stocks d'élevage. Les smolts issus de saumons adultes sauvages qui sont retournés vers les rivières Philip et La Have, en Nouvelle-Écosse, et Saint John, au Nouveau-Brunswick, sont actuellement produits au Centre de Mersey, et approvisionnent quatre exploitations de saumons maritimes en Nouvelle-Écosse pendant chaque année d'un programme de quatre ans. Avec ce programme, l'aquaculture de la Nouvelle-Écosse pourra exploiter des stocks reproductions provenant du stock de saumons qui donne les meilleurs résultats dans les cages marines de l'endroit. Les écloseries pourront ainsi obtenir des oeufs provenant du stock qui donne les meilleurs résultats. Les saumons actuellement élevés par les centres d'aquaculture du Nouveau-Brunswick provenaient, à l'origine, de poissons adultes qui sont retournés vers la Saint John. Ce stock a manifesté d'excellents taux de croissance et de survie en mer, et la plupart de ces saumons ne sont matures qu'après avoir passé deux ans dans les cages marines. Ces facteurs ont joué un rôle essentiel dans la réussite de l'industrie du Nouveau-Brunswick. Trente mille smolts de la Saint John sont actuellement produits au Centre de Mactaquac aux fins d'exploitation des stocks d'élevage par l'industrie du Nouveau-Brunswick. Le comportement de ces smolts dans les cages marines sera évalué et les stocks qui révèlent une augmentation des taux de croissance, une maturité sexuelle retardée, et, parfois, une amélioration de la qualité de la carcasse et de la résistance à certains agents pathogènes du saumon, seront sélectionnés dans le cadre du Programme de recherches génétiques sur les saumons que parraine la Fédération du saumon atlantique.

Recherche

Les six centres de la région de Scotia-Fundy fournissent des jeunes saumons au gouvernement, à l'université et aux chercheurs indépendants afin de faciliter les recherches. On a utilisé les saumons pour créer des méthodes d'élevage, améliorer la conception des échelles à poissons, inventer des vaccins pour les poissons et des régimes pour les saumons, et pour effectuer des études sur les maladies des poissons, ainsi que des enquêtes toxicologiques et physiologiques.

En conclusion, les centres de pisciculture de la région continueront de produire des saumons atlantiques juvéniles afin d'appuyer les programmes d'amélioration, les centres d'aquaculture du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse, ainsi que les programmes de recherche. Un grand nombre des programmes d'amélioration sont dirigés de concert avec les organisations de pêche récréative. Les employés consultent des spécialistes de l'aquaculture dans les domaines de l'approvisionnement en semences, de l'exploitation des stocks d'élevage, et aussi de la sélection et de la conception des sites d'incubation. Les six centres de pisciculture sont ouverts au public et reçoivent en moyenne entre 15 000 et 20 000 visiteurs par an. Une installation destinée aux visiteurs est actuellement en construction au Centre de Mactaquac. Le public se verra offrir des visites guidées du centre; il pourra se renseigner sur la biologie, la gestion et l'amélioration des saumons atlantiques. En outre, on est en train de préparer des documents consacrés aux programmes des autres centres. Ces documents seront fournis aux visiteurs dans ces centres.

Références bibliographiques

COOK, R.H. 1988. Salmon aquaculture in the Bay of Fundy: A quiet success. Aquaculture Bulletin 2:29-40.

GOFF, T.R., et L.S. FORSYTH. 1979. Production of Atlantic salmon smolts in one year without freezing of water, Mersey Hatchery, Nova Scotia. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. 841:20 p.

O'NEIL, S.F., K. NEWBOULD et R. PICKARD. 1989. 1987 Atlantic salmon sport catch statistics,

Maritime Provinces. Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 770:v+73 p.

REDDIN, D.G. 1988. Ocean life of Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) in the northwest Atlantic. Salmon Genetics Research Program, Atlantic Salmon Federation, St. Andrews, N.B. Tech. Rep. 88.26 p.

WATT, W.D. 1988. Major causes and implications of Atlantic salmon habitat losses. In: R.H. Stroud (éd.). Proceedings of the Symp. on Present and Future Atlantic Salmon Management, Portland, ME, 27 au 29 octobre, 1987. Atlantic Salmon Federation, Ipswich, MA, and National Coalition for Marine Conservation, Inc., Savannah, GA: 101-111.

WATT, W.D. 1989. The impact of habitat damage on Atlantic salmon (*Salmo salar*) catches. In: C.D. Levings, L.B. Holtby, et M.A. Henderson (éds.). Proceedings of the National Workshop on Effects of Habitat Alteration on Salmonid Stocks. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques. 105:154-163.

L'incidence des pluies acides sur l'habitat

G. L. Lacroix, W. D. Watt, et J. F. Uthe

G. L. Lacroix

W. D. Watt

J. F. Uthe

Le phénomène connu sous le nom de pluies acides et ses incidences sont le fruit d'une association de facteurs comme d'importantes sources d'émission, les systèmes de transport météorologique et la sensibilité des habitats aquatiques de l'est du Canada. La Nouvelle-Écosse qui est située dans la direction du vent des principales sources d'émission, reçoit des dépôts acides dus au transport à grande distance des polluants atmosphériques (TGDPA), essentiellement les oxydes de soufre et l'azote provenant de sources industrielles (Shaw, 1979; Underwood *et al.*, 1987). La combustion locale de combustibles fossiles et d'autres sources locales peuvent également produire des émissions acides et contribuer au processus d'acidification. Les eaux de surface reflètent généralement ces dépôts mais les propriétés géologiques et pédologiques peuvent être d'importants déterminants de la qualité de l'habitat. Dans les sols pauvres en bases, le calcium et le magnésium peuvent être lessivés ou captés par les forêts et d'autres végétations, ne laissant que de faibles concentrations dans les eaux de surface. Dans les sols acides, les métaux-traces peuvent être mobilisés et lessivés dans l'habitat aquatique. Les acides organiques provenant des processus biologiques contribuent également à l'acidité de l'eau douce. Certaines des eaux de surface de Nouvelle-Écosse sont très colorées et naturellement acides à cause des acides humiques provenant des tourbières et des marais des bassins versants des rivières (Gorham *et al.*, 1986; Kerekes *et al.*, 1986; Underwood *et al.*, 1987). La façon dont les systèmes aquatiques réagissent aux dépôts acides est en définitive fonction de l'apport d'acides forts dans l'atmosphère, de la contribution géologique du bassin versant récepteur et des processus chimiques qui se produisent dans le bassin versant.

L'acidification des eaux de surface résultant des dépôts acides du TGDPA s'est produite dans des régions de la Nouvelle-Écosse où la géologie est dominée par les roches granitiques très résistantes à l'altération chimique (Kerekes *et al.*, 1986; Howell et Brookshank, 1987). On estime que 46% de l'habitat d'eau douce étudié dans cette province a été sérieusement acidifié par le TGDPA alors que 20% a été acidifié par des sources locales/naturelles (Howell *et al.*, 1988a). L'acidification a été limitée dans la tranche restante de 34% qui est située dans des régions à sensibilité de bas terrain. Les principales zones d'acidification par les pluies acides se trouvent dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, au nord-ouest de Halifax-Dartmouth et au nord de l'île du Cap Breton alors que les régions d'acidification locale/naturelle élevée provoquée par les acides organiques naturels et les acides forts d'origine locale prévalent dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, le long de la côte est et au nord de l'île du Cap Breton. Ces zones englobent un certain nombre de rivières de la région des bas-plateaux du sud, représentées à la figure 1, qui se sont acidifiées au cours des 30 à 40 dernières années (Farmer *et al.*, 1980; Watt *et al.*, 1983). L'apparition de pH moins élevés dans les rivières de Nouvelle-Écosse à une époque où les émissions de dioxyde de soufre ont culminé en Amérique du Nord, soit vers la fin des années 1960 et le début des années 1970, porte à croire que les rivières réagissent à une charge d'acides minéraux provenant du TGDPA (Howell *et al.*, 1988b). Le pH de la plupart des rivières qui sont aujourd'hui chroniquement acides subit d'importantes fluctuations saisonnières et ces rivières ont de faibles concentrations de calcium et de fortes concentrations d'aluminium dissous (Lacroix et Kan, 1986). Leurs eaux sont également riches en acides humiques et ont une forte teneur en carbone organique dissous (Oliver *et al.*, 1983). En conséquence, l'aluminium non échangeable (à liaison organique) est la forme d'aluminium qui

Fig. 1 pH annuel moyen des rivières à saumons des provinces maritimes (1979-1985). La région au sud de la ligne en pointillés est la région des bas-plateaux du sud de la Nouvelle-Écosse (tiré du CIEM, 1988).

gadoïdes (Lacroix et Kan, 1990). L'automne et l'hiver sont les saisons les plus acides, le pH augmentant tout au long du printemps et de l'été. Il se produit rarement d'importantes poussées acides résultant de la fonte des neiges au printemps car la plupart des années, il s'accumule peu de neige durant l'hiver.

L'Organisation pour la conservation du saumon de l'Atlantique Nord (OCSAN) a récemment souligné l'importance qu'il y a à déterminer l'influence de l'acidification des habitats d'eau douce sur la production de saumons atlantiques (CIEM, 1988). La région des bas-plateaux du sud de la Nouvelle-Écosse (figure 1) est sillonnée par une soixantaine de rivières dont on sait qu'elles étaient peuplées de saumons atlantiques dans les années 1950. Trente de ces rivières sont aujourd'hui très acides (pH inférieur à 4,7) et pas un saumon n'y a été pêché depuis le début des années 1970. Les prises de pêche sportive ne représentent plus que 10% des prises historiques (avant 1953) dans 18 autres rivières qui ne sont que légèrement moins acides (pH 4,7 à 5,0). Environ 40% de l'habitat riverain accessible de Nouvelle-Écosse est jugé vulnérable à l'acidification et plus de 15% de l'habitat des saumons a été perdu à l'acidification depuis 1950 (CIEM, 1988). Cela représente d'importantes pertes annuelles pour l'échappée et la pêche commerciale (Watt, 1986).

Les registres des prises de pêche sportive de saumon atlantique ont donc donné lieu à des recherches sur les effets de l'acidité des rivières sur les stades du cycle biologique en eau douce des espèces et sur leur production afin de mieux établir un lien de cause à effet. Les résultats indiquent que les jeunes saumons sont gravement affectés par l'acidité des rivières de Nouvelle-Écosse (Lacroix, 1987a, b, 1989a, b). À la figure 2, la gamme des taux de survie durant les stades du cycle biologique en eau

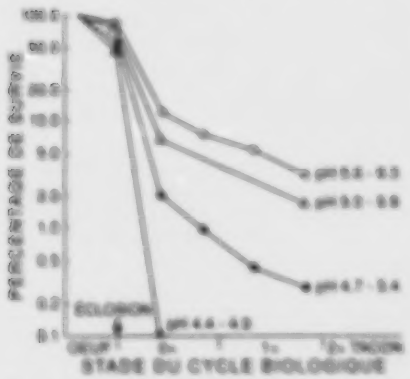


Fig. 2 Modèle de survie du saumon atlantique du stade de l'œuf au stade du tacon dans les rivières acides de Nouvelle-Écosse représentant différents régimes de pH (tiré de Lacroix, 1987b).

douce des jeunes saumons sous différents régimes de pH indique que le taux de survie atteint son minimum lorsque le pH est bas et qu'au même stade du cycle, ce taux est plus élevé lorsque le pH est à son maximum. Il n'y a pas de survie au-delà du stade du fretin à un pH inférieur à 4,7. Les taux de survie et de densité des jeunes saumons augmentent lorsque le pH est supérieur à 4,9 et au-dessus de 5,5, le taux de densité n'a apparemment aucun rapport avec le pH alors que le taux de survie est le même que pour les jeunes saumons qui vivent dans un habitat non pollué.

La figure 2 nous apprend que les alevins et le fretin sont plus sensibles à un bas pH que ne le sont soit les oeufs soit les tacons. Ce sont les embryons qui sont généralement le moins sensibles grâce à la protection du chorion et du liquide périvitellin (Peterson *et al.*, 1980, 1982). Il n'en demeure que la survie des oeufs jusqu'à l'éclosion est directement fonction du pH de l'eau dans les frayères (Lacroix, 1985a). Les alevins récemment éclos qui ont un fort pourcentage de parois branchiales par rapport au volume du corps, de forts taux métaboliques et dont les téguments sans écailles manquent de protection, sont extrêmement sensibles à un bas pH (Peterson et Martin-Robichaud, 1986), alors que le fretin est éminemment sensible entre le moment de la résorption du sac vitellin jusqu'à ce qu'il commence à se nourrir activement (Lacroix *et al.*, 1985). En conséquence, le taux auquel les saumons émergent des frayères est extrêmement bas dans les cours d'eau acides et l'on n'escompte aucune survie à un pH inférieur à 4,7. Le taux de mortalité des tacons de saumon au cours des épisodes d'acidité dans les cours d'eau est proportionnel au taux de fluctuation du pH et à la taille des tacons: les petits sont plus sensibles que les gros (Lacroix et Townsend, 1987). Le seuil critique auquel meurent les tacons des rivières de Nouvelle-Écosse est un pH d'environ 4,6 pour les expositions de longue durée (20 jours) et un pH de 4,4 pour les expositions de courte durée (5 jours ou moins). Dans les régions acides où les jeunes saumons ne descendent pas vers les régions moins acides en aval avant de passer au stade de smolt, le taux de mortalité est encore plus élevé car le passage du stade de tacon à celui de smolt ne se fait pas et le taux de mortalité est élevé après une exposition chronique à un pH inférieur à 4,7 (Saunders *et al.*, 1983; Johnston *et al.*, 1984; Farmer *et al.*, 1989).

À cause des effets de l'agression acide sur la densité des jeunes saumons, la production de jeunes et le rendement potentiel des smolts subissent les effets fâcheux de l'acidification (Lacroix, 1989a). La production annuelle totale peut être en moyenne inférieure de 70% lorsque le pH est bas et chuter en-deçà de la limite inférieure nécessaire au maintien d'une population naturelle de saumons lorsqu'on atteint un pH minimum de 4,7. La production de smolts augmente de manière exponentielle lorsque le pH est supérieur à 4,7 et elle est plus de cinq fois plus élevée à un pH moins acide et comparable à celle des smolts dans les régions non acides. Le faible taux de production dans les rivières plus acides est attribuable aux très faibles densités et au très bas taux de survie des jeunes saumons à un pH bas plutôt qu'à une croissance réduite. La croissance des tacons est souvent plus rapide dans les rivières plus acides en raison de la moindre concurrence pour les ressources alimentaires au pH le plus bas. Un stock peut apparemment disparaître à bas pH avant que ne se produise le moindre effet trophique délétère. La faible production de smolts dans les rivières les plus acides est jugée insuffisante pour le maintien de populations naturelles de saumons dans ces rivières, d'après les critères d'échappée dans les rivières du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse (Lacroix, 1987b). La mortalité élevée des alevins et du fretin à la première alimentation en réaction au bas pH est essentiellement responsable de la baisse du recrutement et du déclin et de la perte des stocks de saumons dans les rivières acides de Nouvelle-Écosse.

Même si le saumon sert généralement d'espèce modèle pour illustrer les effets de l'acidification des habitats d'eau douce, les recherches indiquent que d'autres espèces de poissons subissent également des effets délétères (Lacroix, 1987a). L'absence d'espèces sensibles à l'acide et les très basses densités de poissons caractérisent les cours d'eau dont le pH se situe entre 4,5 et 5,0. À l'instar des jeunes saumons, les Cyprinidés sont en général les espèces les plus abondantes dans les cours d'eau les moins acides mais ils sont absents des cours d'eau plus acides. Les densités de Cyprinidés sont gravement réduites dans les cours d'eau dont le pH est inférieur à 5,4 et les classes d'âge jeunes sont rares ou absentes. L'anguille d'Amérique résiste généralement à l'acidité et abonde dans les cours d'eau dont le pH est inférieur à 5,5, où cette espèce compte pour une part de plus en plus importante de la biomasse de poissons aux pH les plus bas. La carpe noire est également relativement abondante lorsque le pH est bas, mais sa contribution à la biomasse est sans importance en raison de l'absence de la plupart des classes plus âgées que les jeunes de l'année. Plusieurs autres espèces comme la truite d'eau douce et la perche jaune se retrouvent dans les cours d'eau acides mais elles ne sont pas très abondantes et les classes âgées en sont souvent absentes.

Les recherches ont également permis de mieux comprendre les mécanismes d'action et

les facteurs qui entrent en jeu dans la réduction des populations de poissons dans les habitats acidifiés (Lacroix, 1985b, 1989c; Lacroix et Townsend, 1987; Lacroix *et al.*, 1990). L'importance de ce phénomène tient aux effets déroutants que l'augmentation des concentrations d'aluminium aqueux peut avoir suite à l'acidification (Leivestad, 1982; Wood et McDonald, 1987). Les réactions physiologiques du jeune saumon atlantique et de la truite de rivière à une acidité chronique et à une acidité aiguë caractéristique des événements épisodiques, révèlent qu'il existe une corrélation indiscutable entre les baisses de sodium plasmatique et de chlorure et le pH ambiant, mais pas de corrélation avec les concentrations d'aluminium échangeable dans les rivières. Ces électrolytes plasmatiques sont de bons indicateurs des seuils des effets sublétaux sur les mécanismes de régulation ionique. Les corrélations avec le pH ambiant peuvent servir à établir la distinction entre les réactions létales et sublétales à une exposition acide et par conséquent, à indiquer la gravité de l'acidification de l'habitat des Salmonidés. La régulation complète se produit à un pH supérieur à 5,0 et les Salmonidés exposés à de l'eau dont le pH est inférieur à ce seuil présentent un déficit appréciable de la régulation ionique. L'ampleur de la réaction est proportionnelle au niveau d'agression acide et à un pH inférieur à 4,7, on constate une perte grave des électrolytes qui aboutit souvent à la mort. Des pertes électrolytiques semblables en réponse à l'agression acide ont également été constatées au stade du tacon chez le saumon atlantique et au stade de la maturation chez la carpe noire, le gasparot et le saumon atlantique durant les migrations de reproduction dans les rivières acides (Lacroix, 1985b; Farmer *et al.*, 1989; Brown *et al.*, 1990). Les changements physiologiques se rattachant à la régulation osmotique et ionique qui se produit à la migration des tacons se traduisent par une plus forte sensibilité des tacons à un faible pH (Lacroix, 1985b).

Il n'existe en général aucune preuve morphologique de lésions graves dans l'épithélium branchial des Salmonidés exposés de manière chronique ou aiguë à un faible pH dans les rivières acides de Nouvelle-Écosse (Lacroix, 1989b, c; Lacroix *et al.*, 1990). L'aluminium qui peut entraîner de graves changements histologiques dans les branchies n'est apparemment pas un facteur appréciable dans les effets létaux observés dans la plupart de ces rivières acides. Il n'existe pas de corrélation apparente entre la perte d'électrolytes plasmatiques chez les Salmonidés et la présence d'aluminium échangeable dans les rivières acides et le niveau d'accumulation d'aluminium dans leurs branchies n'élève pas le seuil auquel se produit la perte de régulation ionique et la mort. Les effets physiologiques et toxicologiques de l'aluminium sont généralement le fruit de formes échangeables (inorganiques ou ioniques) d'aluminium dissous, qui sont peu importantes, quelle que soit la concentration totale d'aluminium, en raison de l'importance du niveau de liaison avec la matière organique dans ces eaux (Lacroix et Kan, 1986). On a également déterminé le taux de mortalité des alevins de saumon atlantique dans des solutions préparées contenant de l'aluminium et des anions organiques dissous d'origine à la fois synthétique et naturelle afin de mieux établir l'importance relative d'un bas pH et de l'aluminium dans l'eau organique caractéristique des cours d'eau acides de Nouvelle-Écosse (Peterson *et al.*, 1989). Le modèle révèle que le taux de mortalité et l'accumulation d'aluminium dans l'organisme augmentent de manière spectaculaire à mesure que les concentrations totales d'aluminium dépassent les concentrations d'anions organiques, alors que les concentrations d'anions organiques dans les eaux de Nouvelle-Écosse sont suffisamment élevées par rapport aux concentrations d'aluminium pour empêcher toute toxicité à l'égard des alevins de saumon, le stade le plus sensible du cycle biologique. La toxicité semble donc résulter essentiellement de l'effet d'un faible pH ambiant dans l'habitat acidifié sur les mécanismes de régulation ionique dans les branchies, lesquels à leur tour affectent les taux de survie et de production des jeunes saumons.

Les recherches démontrent également qu'un habitat acidifié peut affecter le métabolisme hormonal et par conséquent la maturation sexuelle et la reproduction du saumon atlantique (Freeman *et al.*, 1983; Freeman et Sangalang, 1985; Sangalang et Freeman, 1987; Brown *et al.*, 1990). Si les derniers mois de la maturation sexuelle en eau douce se font dans un habitat acidifié, le métabolisme des hormones sexuelles et corticoïdes devient anormal. Cela entraîne un manque de synchronisme dans les périodes de maturation des ovocytes et de spermatogénèse, ce qui peut entraver la capacité de reproduction des poissons qui subissent une agression chronique. Il peut également se produire une baisse de la fécondité et une plus forte mortalité des oeufs, tandis que la perte de poids peut être plus élevée que la normale et que les poissons peuvent devenir léthargiques; la mortalité des géniteurs peut être massive en cas d'épisode acide associé à des pluies automnales. Ces effets sur l'échappée peuvent sérieusement affecter la production de saumons dans les rivières dont le pH est bas à travers toutes les zones de retenue durant l'achèvement de la maturation et juste avant la ponte. C'est la situation qui prévaut aujourd'hui dans les rivières de Nouvelle-Écosse où l'on ne trouve plus de saumons depuis vingt ans. Dans les autres réseaux hydrologiques acidifiés, l'état du cours d'eau principal et de certains de ses affluents convient souvent à la maturation sexuelle et à la reproduction, ce qui autorise la persistance de certaines populations de saumons.

Références bibliographiques

BROWN, S.B., R.E. EVANS, H.S. MAJEWSKI, H.C. FREEMAN et J.F. KLAVERKAMP. (sous presse). Responses of Atlantic salmon *(Salmo salar)* to acidic rivers in Nova Scotia and to experimental amelioration: effects on plasma electrolytes, thyroid hormones, and gill histology. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 47.

FARMER, G.J., T.R. GOFF, D. ASHFIELD et H.S. SAMANT. 1980. Some effects of the acidification of Atlantic salmon rivers in Nova Scotia. Can Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 942:vii+13 p.

FARMER, G.J., R.L. SAUNDERS, T.R. GOFF, C.E. JOHNSTON et E.B. HENDERSON. 1989. Some physiological responses of Atlantic salmon *(Salmo salar)* exposed to soft, acidic water during smolting. Aquaculture 82:229-244.

FREEMAN, H.C. et G.B. SANGALANG. 1985. The effects of an acidic river caused by acid rain on weight gain, steroidogenesis, and reproduction in the Atlantic salmon *(Salmo salar)*. Dans : R.C. Bahner et D.J. Hansen (éd.). Aquatic toxicology and hazard assessment, 8th Symp., ASTM STP 891, Philadelphie, PA:222-249.

FREEMAN, H.C., G.B. SANGALANG, G. BURNS et M. McMENEMY. 1983. The blood sex hormone levels in sexually mature male Atlantic salmon *(Salmo salar)* in the Westfield River (pH 4,7) and the Medway River (pH 5,6), Nouvelle-Écosse. Science of the Total Environment 32:87-91.

GORHAM, E., J.K. UNDERWOOD, F.B. MARTIN et J.G. OGDEN III. 1986. Natural and anthropogenic causes of lake acidification in Nova Scotia. Nature (Lond.) 324:451-453.

HOWELL, G. et P. BROOKSBANK. 1987. An assessment of LRTAP acidification of surface waters in Atlantic Canada. Direction générale des cours d'eau intérieurs, Direction de la qualité de l'eau, rapport N° IWL-AR-WQB-87-121.

HOWELL, G., R. GELINAS et J. SLATTS. 1988a. Identification of surface water acidification sources in Nova Scotia. Water Pollut. Res. J. Canada 23:520-530.

HOWELL, G.D., P.E.J. GREEN, C.A. FIELD et B. FREEDMAN. 1988b. Temporal patterns of acidification of rivers in Nova Scotia and Newfoundland and their relationship to sulphate emissions. Water Pollut. Res. J. Canada 23:532-540.

CONSEIL INTERNATIONAL POUR L'EXPLORATION DE LA MER (CIEM). 1988. Rapport du groupe d'étude sur les pluies acides, Copenhague, 15 mars 1988. C.M. 1988/M:5, CIEM, Copenhague:53 p.

JOHNSTON, C.E., R.L. SAUNDERS, E.B. HENDERSON, P.R. HARMON et K. DAVIDSON. 1984. Chronic effects of low pH on some physiological aspects of smoltification in Atlantic salmon

(Salmo salar). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1294:7p.

KERKES, J., S. BEAUCHAMP, R. TORDON et T. POLLOCK. 1986. Sources of sulphate and acidity in wetlands and lakes in Nova Scotia. Water Air Soil Pollut. 31:207-214.

LACROIX, G.L. 1985a. Survival of eggs and alevins of Atlantic salmon *(Salmo salar)* in relation to the chemistry of interstitial water in redds in some acidic streams of Atlantic Canada. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 42:292-299.

LACROIX, G.L. 1985b. Plasma ionic composition of the Atlantic salmon *(Salmo salar)*, white sucker *(Catostomus commersoni)*, and alewife *(Alosa pseudoharengus)* in some acidic rivers of Nova Scotia. Can. J. Zool. 63:2254-2261.

LACROIX, G.L. 1987a. Fish community structure in relation to acidity in three Nova Scotia rivers. Can. J. Zool. 65:2908-2915.

LACROIX, G.L. 1987b. Model for loss of Atlantic salmon stocks from acidic brown waters of Canada. Dans : R. Perry, R.M. Harrison, J.N.B. Bell et J.N. Lester (éd.). Acid rain: scientific and technical advances. Selper Ltd., Londres : 516-521.

LACROIX, G.L. 1989a. Production of juvenile Atlantic salmon *(Salmo salar)* in two acidic rivers of Nova Scotia. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 46:2003-2018.

LACROIX, G.L. 1989b. Ecological and physiological responses of Atlantic salmon in acidified organic rivers of Nova Scotia, Canada. Water Air Soil Pollut. 46:375-386.

LACROIX, G.L. 1989c. Physiological responses of salmonids as indicators of sublethal stress in acidified organic rivers of Atlantic Canada. Dans : J. Bohác et V. Ruzicka (éd.). Proc. 5th Int. Conf. Bioindicators Deteriorationis Regionis, Vol. II. Institute of Landscape Ecology, Czechoslovak Academy of Sciences, Ceské Budejovice : 418-428.

LACROIX, G.L., D.J. GORDON et D.J. JOHNSTON. 1985. Effects of low environmental pH on the survival, growth, and ionic composition of postemergent Atlantic salmon *(Salmo salar)*. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 42:768-775.

LACROIX, G.L., D.J. HOOD, C.S. BELFRY et T.G. RAND. 1990. Plasma electrolytes, gill aluminum content, and gill morphology of juvenile Atlantic salmon *(Salmo salar)* and brook trout *(Salvelinus fontinalis)* indigenous to acidic streams of Nova Scotia. Can. J. Zool. 68:1270-1280.

LACROIX, G.L. et K.T. KAN. 1986. Speciation of aluminum in acidic rivers of Nova Scotia supporting Atlantic salmon: a methodological evaluation. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1501:iii+12 p.

LACROIX, G.L. et D.R. TOWNSEND. 1987. Responses of juvenile Atlantic salmon *(Salmo salar)* to episodic increases in acidity of Nova Scotia rivers. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 44:1475-1484.

LEIVESTAD, H. 1982. Physiological effects of acid stress on fish. Dans : R.E. Johnson (éd.). Acid rain/fisheries. American Fisheries Society, Bethesda, MD:157-164.

OLIVER, B.G., M. THURMEN et R.L. MALCOLM. 1983. The contribution of humic substances to the acidity of colourad natural waters. Geochim. Cosmochim. Acta 47:2031-2035.

PETERSON, R.H., P.D. DAYE et J.L. METCALFE. 1980. Inhibition of Atlantic salmon *(Salmo salar)* hatching at low pH. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 37:770-774.

PETERSON, R.H., P. DAYE, G.L. LACROIX et E.T. GARSIDE. 1982. Reproduction in fish experiencing acid and metal stress. Dans : R.E. Johnson (éd.). Acid rain/fisheries. American Fisheries Society, Bethesda, MD:177-196.

PETERSON, R.H. et D.J. MARTIN-ROBICHAUD. 1986. Growth and major inorganic cation budgets of Atlantic salmon alevins at three ambient acidities. Trans. Am. Fish. Soc. 115:220-226.

PETERSON, R.H., R.A. BOURBONNIERE, G.L. LACROIX, D.J. MARTIN-ROBICHAUD, P. TAKATS et G. BRUN. 1989. Responses of Atlantic salmon *(Salmo salar)* alevins to dissolved organic carbon and dissolved aluminum at low pH. Water Air Soil Pollut. 46:399-414.

SANGALANG, G.B. et H.C. FREEMAN. 1987. The effects of limestone treatment of an acidic river on steroid metabolism and reproduction in the Atlantic salmon, *Salmo salar*. Dans : D.D. Hemphill (éd.). Trace substances in environmental health. 21e Symp., Univ. du Missouri, Colombia:121-129.

SAUNDERS, R.L., E.B. HENDERSON, P.R. HARMON, C.E. JOHNSTON et J.G. EALES. 1983. Effects of low environmental pH on smoltingof Atlantic salmon *(Salmo salar)*. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 40:1203-1211.

SHAW, R. 1979. Deposition of SO_x and NO_x in Atlantic Canada. Environmental Science and Technology 13:406-411.

UNDERWOOD, J.K., J.G. OGDEN III, J.J. KERKES et H.H. VAUGHAN. 1987. Acidification of Nova Scotia lakes III: atmospheric deposition of SO_x and NO_x and effects on rural and urban lakes. Water Air Soil Pollut. 32:77-88.

WATT, W.D. 1986. The case for liming some Nova Scotia salmon rivers. Water Air Soil Pollut. 31:775-789.

WATT, W.D., C.D. SCOTT et W.J. WHITE. 1983. Evidence of acidification of some Nova Scotian rivers and its impacts on Atlantic salmon, *Salmo salar*. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 40:462-473.

WOOD, C.M. et D.G. McDONALD. 1987. The physiology of acid/aluminum stress in trout. Dans : H.H. Witters and G. Vanderborght (eds.). Ecophysiology of acid stress in aquatic organisms, Annales Soc. R. Zool. Belg. 117(1):399-410.

L'océan Arctique : son rôle dans le régime climatique du globe

E. P. Jones et R. A. Clarke

E. P. Jones et R. A. Clarke

Lorsqu'on procède à des simulations du régime climatique du globe dans des conditions où les concentrations des gaz actifs par rayonnement sont doublées (communément appelées scénario du CO_2 doublé), on obtient des réchauffements de la température à l'échelle du globe variant entre 1°C et 5°C, selon la complexité des paramètres représentant les divers processus atmosphériques dans les modèles. Tous les modèles prévoient un réchauffement maximal aux environs de la périphérie des banquises de l'Arctique et de l'Antarctique (Hansen *et al.*, 1984; Washington et Meehl, 1986). Toutefois, ces simulations climatiques offrent une piètre représentation de la distribution et des cycles actuels de la glace de mer aux latitudes élevées, car les principaux facteurs qui influent sur la distribution sont la dérive de la glace et les processus océaniques.

Les océanographes s'entendent pour dire que même si le climat dans l'océan Arctique sera régi par les changements à l'échelle du globe, l'océan Arctique lui-même n'influera pas beaucoup sur le climat du globe. Les changements climatiques dans l'Arctique peuvent être classés davantage parmi les changements régionaux et locaux que parmi les changements globaux. Cependant, étant donné les changements draconiens prévus dans les régions arctiques par les simulations à l'échelle du globe et l'importance de ces changements pour de grandes régions canadiennes, nous devons améliorer notre compréhension de tout le milieu océanique arctique pour prévoir ces réactions régionales.

Voici les principales questions à résoudre en ce qui a trait à l'océan Arctique. Quels processus contribuent à son climat froid et sec actuel et comment ces processus pourraient être touchés par un changement climatique? Nous ne faisons que commencer à répondre à la première question, et, jusqu'à présent, nous ne pouvons que formuler des hypothèses quant à la deuxième.

L'océan Arctique, contrairement à la plupart des océans du globe, ne comporte pas de grandes limites ouvertes permettant des échanges d'eau avec la masse océanique mondiale (fig. 1). Ses principaux échanges avec les autres océans se font par le détroit de Fram, où l'eau en provenance de l'Atlantique entre et celle qui provient de l'océan Arctique sort. En outre, une certaine quantité d'eau de surface provenant du Pacifique entre par le détroit de Bering en passant par-dessus un seuil très peu profond, et de l'eau de surface de l'océan Arctique sort entre les îles de l'archipel Arctique canadien.

Une deuxième caractéristique cruciale de l'océan Arctique est sa couverture de glace qui est plus ou moins constante dans les régions centrales et saisonnière près des côtes. L'eau de ruissellement a une importance particulière dans la formation de cette glace. Sans cette source d'eau douce, la couverture de glace de l'océan Arctique serait réduite de beaucoup. La formation et le transport de la glace sont étroitement liés aux bilans de chaleur et de salinité, lesquels représentent des facteurs clés de détermination de la circulation de l'eau dans les océans et, par conséquent, de détermination du climat. Dans un océan Arctique ouvert, les échanges de chaleur et d'humidité se produiraient presque certainement sur une échelle considérable, mais ils sont présentement ralentis par la couverture de glace. Cette couverture empêche également le mélange éolien de la couche superficielle et les échanges gazeux qui ont tous deux, une importance possible pour l'élimination des gaz actifs par rayonnement (ex. : le dioxyde de carbone) de l'atmosphère.

La structure densimétrique de l'océan Arctique constitue une troisième caractéristique majeure. L'eau douce provenant des rivières et la production d'eau saumâtre au cours de la formation de la glace sur les plates-formes continentales jouent un grand rôle dans la détermination de la structure densimétrique. Les plates-formes continentales du bassin océanique arctique ont une étendue inhabituelle. En effet, elles composent environ un tiers de la superficie totale de l'océan Arctique et englobent pratiquement toute la surface où la couverture de glace subit des variations saisonnières. Elles contribuent à déterminer de nombreuses caractéristiques de l'océan Arctique à toutes les profondeurs et représentent peut-être l'un des facteurs qui influent le plus sur la nature globale de cet océan du point de vue climatique.

De façon générale, sa structure densimétrique peut être décrite comme étant composée de quatre couches (fig. 2). Une couche de surface peu profonde (50 m) et bien mélangée d'eau plus douce au point de congélation recouvre presque tout l'océan Arctique. Sous cette couche mélangée d'eau relativement douce, on trouve un fort gradient de salinité (c'est-à-dire de densité), ce qui signifie que la colonne d'eau est très stable. Presque aucun mélange ne peut se faire dans un gradient (ou halocline) aussi prononcé. La couche relativement tiède d'eau de l'Atlantique située sous l'halocline contient suffisamment de chaleur pour faire fondre la glace en surface, mais cette

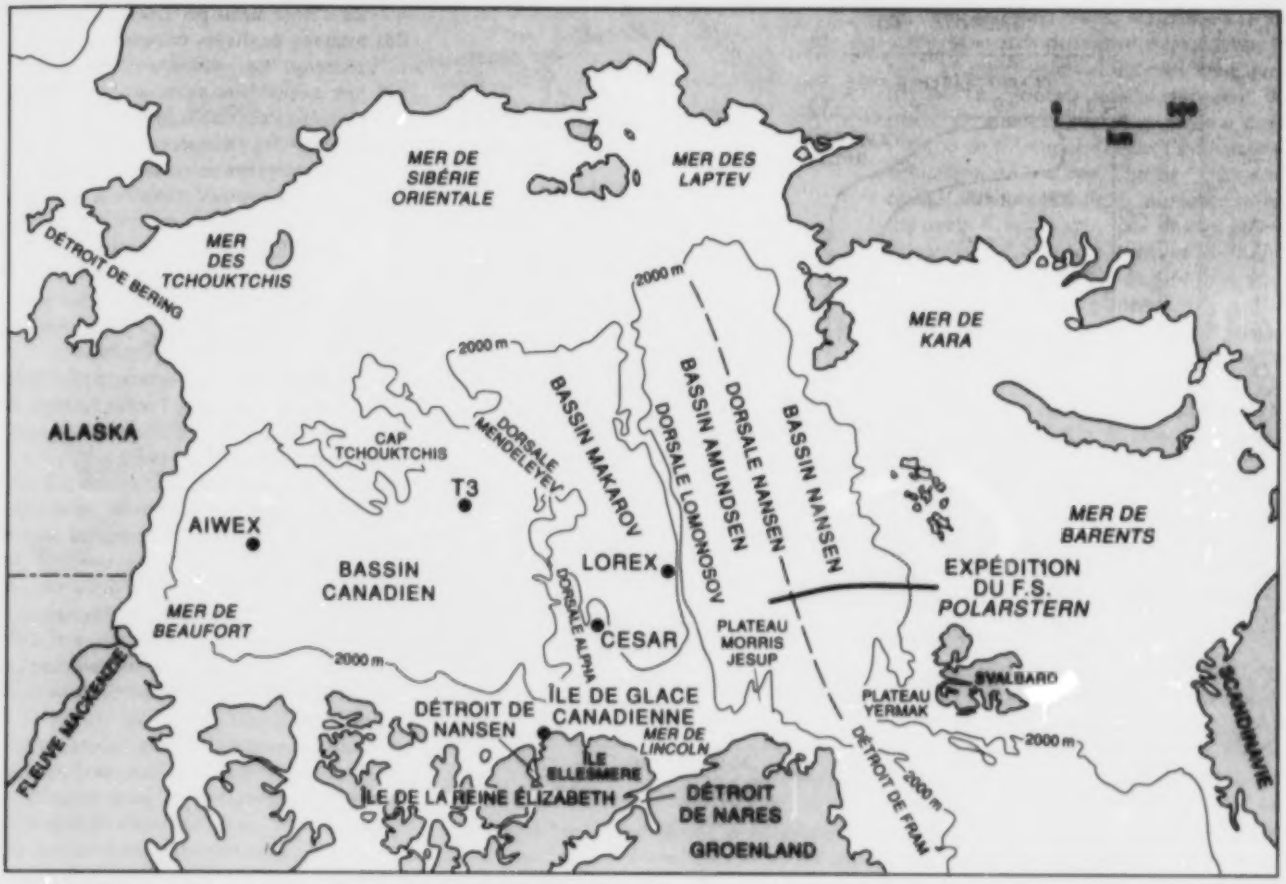


Fig. 1 Carte de l'océan Arctique montrant les camps établis sur les glaces, où des mesures océaniques ont été effectuées à l'aide d'instruments modernes. Expédition historique du F.S. Polarstern *qui a traversé le bassin Nansen du 35°E jusqu'au 86°N approximativement.*

eau est isolée de la surface par le fort gradient de densité. À son tour, ce gradient est maintenu dans une large mesure par un apport considérable d'eau douce provenant de grands cours d'eau situés en majorité du côté eurasien de l'océan Arctique. Sous la couche d'eau de l'Atlantique, se trouve la couche d'eau profonde de l'océan Arctique, froide mais n'atteignant pas le point de congélation. Cette masse d'eau plutôt stagnante (ex. : Anderson *et al.*, 1990) ne subit que peu d'échanges avec les autres océans et joue donc un rôle minime dans la circulation de l'eau à l'échelle du globe et le transport de chaleur et de sel.

Les régions de l'océan Arctique qui jouent le rôle le plus actif dans la détermination des caractéristiques de ses eaux sont les grandes plates-formes continentales eurasiennes. Sur ces plates-formes, l'eau de ruissellement et les processus biologiques actifs au cours du printemps et de l'été contribuent à déterminer les caractéristiques chimiques de l'eau et produisent des indicateurs qui peuvent être suivis dans toutes les eaux des couches supérieures de l'océan Arctique, en particulier dans la couche de l'halocline (Jones et Anderson, 1986).

On pense que l'halocline est maintenue par le rejet d'eau saumâtre qui a lieu pendant la formation de la glace de mer (Aagaard *et al.*, 1981; Melling et Lewis, 1982). Le sel qui est rejeté à mesure que la glace se forme au-dessus des plates-formes crée de l'eau dense qui quitte les plates-formes, se mélange et entraîne de l'eau avec elle vers les régions centrales (fig. 3). Une grande fraction de cette eau salée et froide forme l'halocline. Une certaine quantité est assez dense pour descendre plus en profondeur, participant même à former la couche la plus profonde de l'océan Arctique. À mesure que l'eau des plates-formes s'écoule vers les régions centrales, elle transporte avec elle des constituants chimiques caractéristiques d'un processus ou d'une région particulière des plates-formes. L'eau de ruissellement des cours d'eau apporte du carbone inorganique dissous, décelable dans la couche superficielle de l'océan Arctique. L'eau qui maintient l'halocline supérieure reçoit des éléments nutritifs provenant de matières biosynthétiques décomposées par des processus biologiques sur les plates-formes asiatiques. De plus, d'autres processus biologiques en cours sur les plates-formes européennes, réduisent la teneur en nitrates et en oxygène de cette eau qui pénètre alors, vers la région intérieure de l'océan Arctique dans la couche inférieure de l'halocline. La couche d'eau provenant de l'Atlantique est caractérisée par des températures et des salinités plus élevées.

Les caractéristiques attribuées aux couches d'eau supérieures (couche de surface, couche de l'halocline et couche de l'Atlantique, voir fig. 4) permettent de retracer ces dernières dans tout l'océan Arctique, partout où des données ont été recueillies. Les traceurs chimiques ont été extrêmement utiles pour déterminer les sources de l'eau, en particulier dans l'océan Arctique, où il n'y a que peu de stations d'étude. Une seule section a été étudiée dans tout un bassin central de l'Arctique (Anderson *et al.*, 1989), et moins d'une demi-

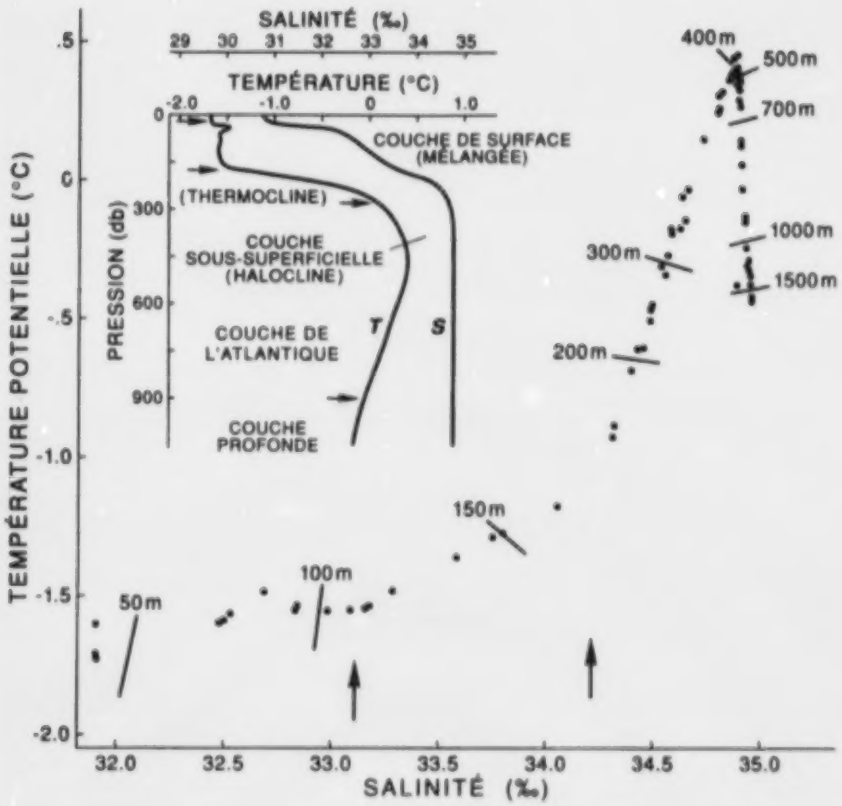


Fig. 2 Profils de la salinité et de la température et graphique de la température en fonction de la salinité dans l'océan Arctique central. La couche de surface se caractérise par une salinité relativement faible et des températures près du point de congélation. L'halocline comporte un fort gradient de salinité. La couche de l'Atlantique comprend une plage centrale tiède à près de 400 m de profondeur. La couche profonde montre un profil plutôt uniforme de salinités plus élevées et de températures plus faibles. Les flèches indiquent le centre des couches supérieure et inférieure de l'halocline.

douzaine de stations profondes ont été établies, à partir de camps installés sur la glace, dans le reste de la région centrale (ex. : Jones et Anderson, 1986; Jones et Anderson, 1990). Néanmoins, les couches d'eau supérieures, de la surface jusqu'à la couche provenant de l'Atlantique, ont été retracées en de nombreux endroits de tout l'océan Arctique et même jusqu'à l'extérieur du détroit de Fram. Le fait que les propriétés attribuées aux eaux de la plate-forme eurasienne se retrouvent dans les eaux situées juste au large de la côte canadienne, au nord de l'île Ellesmere, est particulièrement important pour le Canada; cela montre que l'eau provenant des cours d'eau sibériens et des plates-formes continentales asiatiques se retrouve partout dans l'océan Arctique et circule entre les îles de l'archipel Arctique canadien (Jones et Anderson, 1990).

On a trouvé au cours du siècle dernier du bois provenant de Sibérie dans les eaux du nord de l'Europe occidentale. Nous connaissons maintenant relativement bien la circulation de la couche de surface, grâce à des opérations de traçage de la dérive des glaces effectuées à l'aide de bouées ainsi qu'à partir de divers camps et stations installés sur la glace (ex. : Colony et Thorndike, 1984). Nous avons en outre une idée assez bonne de l'origine de l'eau qui se trouve sous la couche superficielle, mais nous ne connaissons que vaguement la façon dont elle se déplace (ex. : Swift et Koltermann, 1988; Jones et Anderson, 1986; Aagaard *et al.*, 1985; Perkin et Lewis, 1984; Moore *et al.*, 1983). Dans d'autres océans, la circulation de l'eau est déterminée grâce à des relevés densimétriques relativement détaillés combinés à des mesures effectuées à l'aide de réseaux de courantomètres ancrés. Dans le cas de l'océan Arctique, un brise-glace constitue la plate-forme d'étude océanographique la plus efficace, car il comprend des installations qui permettent de prendre des mesures de la densité à l'aide d'instruments perfectionnés ainsi que des mesures de divers traceurs chimiques. L'utilisation de courantomètres ancrés demeure un problème parce qu'il est difficile de retourner à l'endroit où les appareils ont été ancrés pour les récupérer. Les flotteurs dérivants représentent un outil nouveau et fantastique qui pourrait résoudre la difficulté que pose la récupération des courantomètres ancrés. Ces flotteurs sont transportés par les courants à diverses profondeurs et peuvent être suivis acoustiquement en surface grâce à des stations d'écoute établies sur la glace; celles-ci transmettent les données aux satellites.

Le détroit de Fram constitue la principale voie d'échange d'eau entre l'océan Arctique et les autres océans. On a estimé que le volume d'eau échangé y atteint près de 5×10^6 m^3 s^{-1}, soit environ cinq fois plus que partout ailleurs. D'après une analyse des données recueillies pendant un an, à l'aide d'instruments ancrés dans toute la partie est du courant du Groenland, pour mesurer le courant sortant dans la couche supérieure de l'océan Arctique (Foldvik *et al.*, 1988), le volume estimatif d'eau transporté en direction du sud dans ce courant ne représente que la moitié du volume prévu normalement. Ce résultat illustre bien combien rudimentaire est notre compréhension de l'aspect quantitatif des échanges dans cette région, compréhension qui est cruciale pour obtenir les évaluations des bilans de chaleur et de salinité nécessaires à la modélisation du climat.

Perkin et Lewis (1984) ont réalisé des études détaillées de la circulation et du mélange des eaux de l'Atlantique au moment où elles entrent dans l'océan Arctique par le détroit de Fram. Selon leurs données et celles d'autres études menées dans le détroit et à proximité de ce dernier, il se produit un mélange important de cette couche d'eau salée et tiède avec les couches supérieures au moment où elle entre dans l'océan Arctique. Une partie de sa chaleur sert ensuite à faire fondre les glaces de mer au moment où celles-ci convergent vers leur point de sortie : le détroit de Fram. De plus, une grande partie de cette eau est rapidement remise en circulation vers le sud dans le détroit de Fram. Selon toutes les données, le régime de circulation de l'eau dans le détroit et ses environs serait extrêmement complexe. En raison de la topographie accidentée du détroit et des faibles différences de densité entre les diverses couches d'eau, il est possible et probable qu'un certain nombre de courants limitrophes étroits y soient présents et que certains d'entre eux soient responsables de l'introduction rapide, dans l'océan Arctique, de produits chimiques et de traceurs radioactifs de passage (ex. : Smith *et al.*, 1990). Il n'est pas étonnant que nos estimations du transport net de la masse, de la

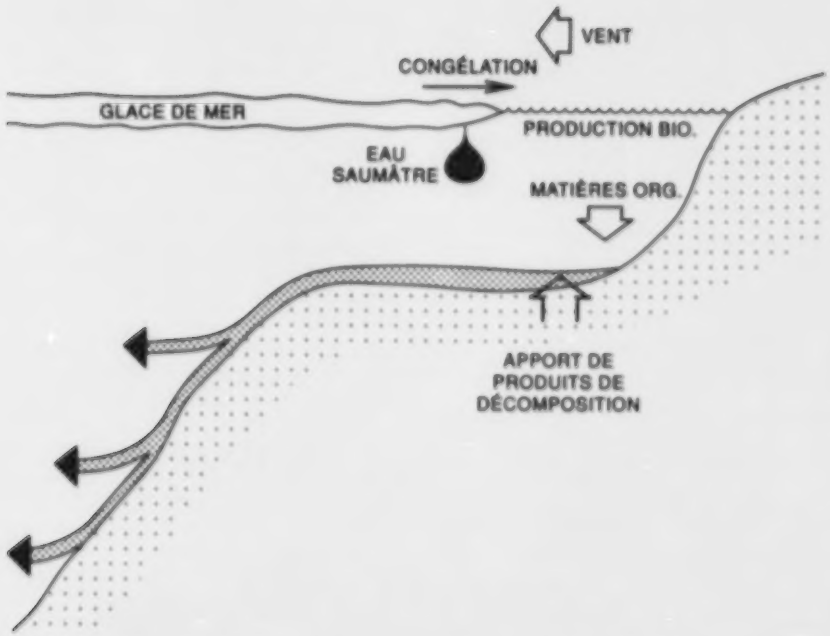


Fig. 3 Représentation schématique des processus en cours sur la plate-forme; ils produisent de l'eau dense qui quitte les plates-formes continentales vers les régions centrales de l'océan Arctique.

glace, de la chaleur et de l'eau douce par le détroit de Fram soient si susceptibles de contenir des erreurs.

On croyait auparavant qu'il n'y avait que peu d'échanges entre les eaux profondes de l'océan Arctique et celles des autres océans du globe. En se fondant sur des données recueillies récemment dans le détroit de Fram et dans les mers de Norvège et du Groenland, Swift et Koltermann (1988) ont soutenu que la couche profonde provenant du bassin eurasien de l'océan Arctique constituait un élément important de la couche profonde de la mer de Norvège. Les modèles précédents des équilibres dans l'océan Arctique n'avaient attribué aucun rôle à la formation de la couche profonde et aux échanges qui s'y font. Il faudra examiner plus à fond l'hypothèse susmentionnée. Il est évident qu'il reste beaucoup à apprendre au sujet de la circulation de la couche profonde de l'Arctique et il est probable que pour l'étudier, on se servira, au cours de la prochaine décennie, principalement de traceurs géochimiques et de flotteurs dérivants suivis acoustiquement. Il est certain que les échanges entre l'océan Arctique et les autres océans du globe ne sont pas encore bien déterminés.

L'effet le plus direct du réchauffement climatique du globe serait de produire des changements dans la couche superficielle de l'océan Arctique qui influeraient sur les liens entre l'atmosphère et l'océan et qui se manifesteraient surtout par des changements dans la couverture de glace. Cet effet est étroitement lié à la quantité d'eau douce qui se trouve dans la couche de surface, dont une grande partie provient actuellement du ruissellement des cours d'eau. Nous comprenons l'aspect qualitatif du maintien de la couche de surface, mais nous ne disposons d'aucun modèle pour la prévision des aspects quantitatifs des processus en cause. En outre, nous pouvons modéliser assez bien les processus liés à la glace dans le cas des régions centrales, mais notre succès est médiocre dans le cas des zones de glace limitrophes, notamment les plates-formes continentales et les mers frontalières.

La plupart des gens auraient tendance à prévoir que le réchauffement du globe se traduira par une diminution substantielle de la couverture de glace et, si l'eau douce s'écoulant des rivières diminuait aussi, que la couverture de glace pourra disparaître tout à fait. Sans cette couverture, l'océan Arctique pourrait ressembler davantage à la mer du Groenland; il fournirait un plus grand apport d'eau profonde qui pourrait alors circuler dans la partie profonde de l'Atlantique Nord. Il est probable que la couche d'eau provenant de l'Atlantique qui se trouve dans l'océan Arctique assurerait une stabilité suffisante dans les régions centrales pour empêcher le mélange en profondeur, mais, au-dessus des plates-formes, la formation d'eau dense pourrait s'accroître. Une augmentation substantielle de la formation d'eau dense et un échange plus actif avec les autres océans résulteraient en un transport accru de chaleur des tropiques vers le nord. Plusieurs autres effets climatologiques liés aux changements dans la couverture de glace, notamment aux changements dans l'albedo de l'Arctique et dans l'évaporation, influeraient sur le climat. Chacun d'entre eux, considéré individuellement, augmenterait ou réduirait l'importance des changements climatiques dans l'océan Arctique. À l'heure actuelle, il est impossible de prévoir exactement les changements climatiques associés à l'océan Arctique, mais il n'est pas prétentieux de supposer qu'il se produira des changements climatiques régionaux et que l'océan Arctique pourra jouer un rôle plus important dans la détermination du climat du globe, rôle tout à fait différent du rôle relativement passif qu'il joue actuellement. Avant que nous puissions prévoir les changements possibles et leurs conséquences, nous devrons mieux comprendre le fonctionnement des processus en cours actuellement dans l'océan Arctique.

Recherche canadienne

Le rôle du Canada dans l'étude de ces régions a été important, à la fois dans la mise en oeuvre de programmes et dans la participation à des programmes internationaux. Les scientifiques canadiens ont établi plusieurs camps sur les glaces (LOREX, CESAR, et un camp sur l'île de glace canadienne) et ont pris part à toutes les expéditions océanographiques, sauf une, au cours desquelles des mesures océanographiques ont été effectuées à l'aide de méthodes modernes. Les programmes mis en oeuvre aux deux derniers camps susmentionnés par la Direction générale des sciences physiques et chimiques du MPO, région néo-écossaise et de la baie de Fundy, ont produit un bon nombre des conclusions générales formulées sur l'origine des masses d'eau superficielles et sur leurs profils de circulation dans l'océan Arctique. Grâce à ces travaux, il a été possible de conclure que, la couche d'eau des régions centrales qui recouvre une couche d'eau refroidie provenant de l'Atlantique, comporte des éléments de l'eau de ruissellement de Sibérie, de l'eau du Pacifique modifiée sur les plates-formes continentales sibériennes et de l'eau provenant en majeure partie de l'Atlantique modifiée beaucoup plus à l'ouest, sur les plates-formes continentales de l'Europe septentrionale. L'un des résultats particulièrement important du point de vue canadien est que toutes ces eaux sont aussi clairement identifiables dans les eaux extracotières canadiennes qui se trouvent au nord de l'île Ellesmere et qui se déplacent à travers l'archipel Arctique canadien (Jones et Anderson, 1986; Moore et Smith, 1986; Jones et Anderson, 1990).

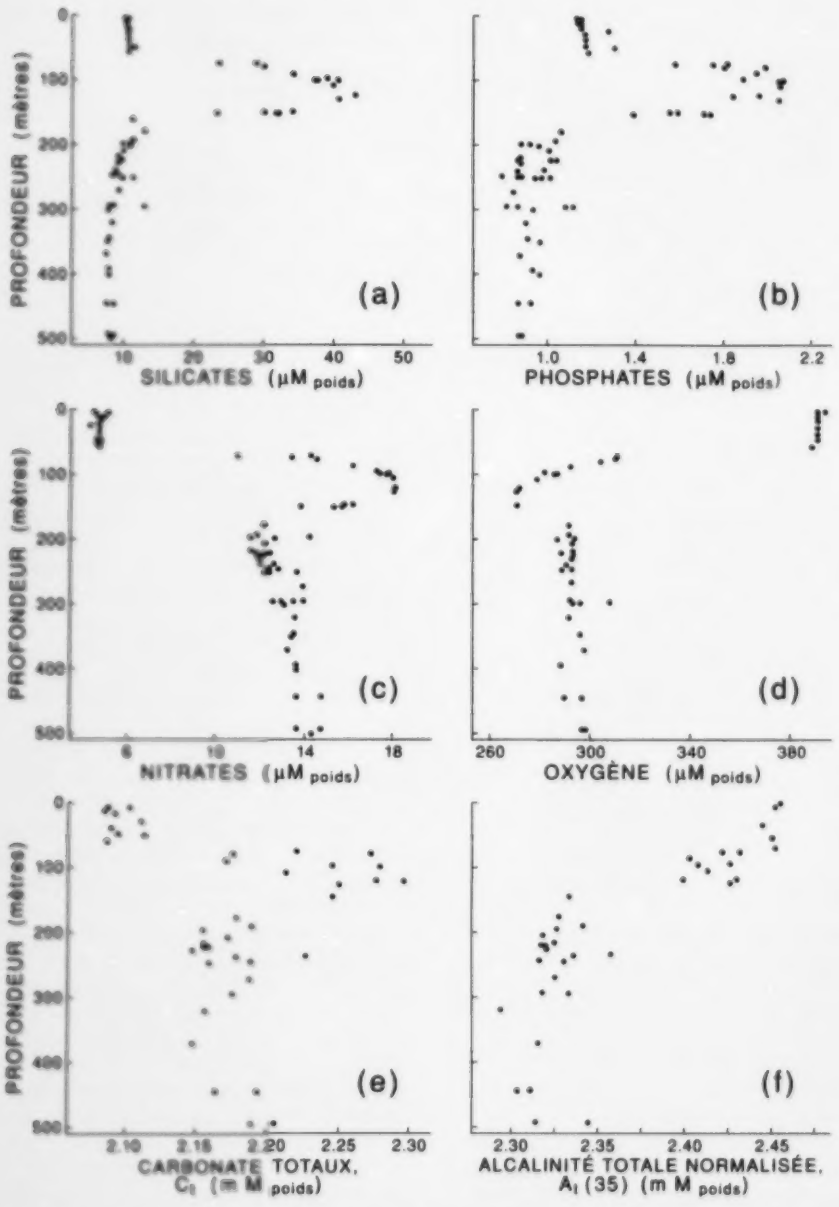


Fig. 4 Profils obtenus au camp CESAR montrant divers constituants chimiques associés à diverses structures de densité de l'océan Arctique central. Les concentrations maximales des éléments nutritifs (silicates, phosphates, nitrates et carbonates) et les concentrations minimales d'oxygène sont associées à l'halocline supérieure. L'alcalinité totale normalisée est un indicateur de la présence d'eau de ruissellement dans la couche de surface.

Les océanographes de l'IOB ont également pris part à des expéditions internationales à bord du brise-glace moderne allemand F.S. *Polarstern*, au cours de sa traversée historique récente du bassin Nansen dans l'océan Arctique (Anderson *et al.*, 1989) et participeront à ce que l'on prévoit être une autre expédition pionnière mixte du brise-glace suédois *Oden* et du F.S. *Polarstern* en vue d'obtenir des données dans des sections de trois bassins de l'océan Arctique. On fait actuellement circuler parmi la collectivité des océanographes canadiens, des propositions préliminaires relatives à un programme quinquennal d'études exhaustives dans l'océan Arctique. L'élaboration de modèles qui décriront bien l'océan Arctique actuel et qui pourront servir à la prévision des futurs changements climatiques régionaux, doit devenir une grande priorité. En raison de notre engagement passé et présent dans la recherche sur l'océan Arctique et de notre intérêt évident pour le climat dans le Nord, tout porte à croire qu'il faut espérer et attendre une contribution importante du Canada à la recherche future sur l'océan Arctique.

Références bibliographiques

AAGAARD, K., L.K. COACHMAN et E.C. CARMACK. 1981. On the halocline of the Arctic Ocean. Deep-Sea Res. 28:529-545.

AAGAARD, K., J.H. SWIFT et E.C. CARMACK. 1985. Thermohaline circulation in the Arctic Mediterranean Seas. J. Geophys. Res. 90:4833-4846.

ANDERSON, L.G., E.P. JONES, K.P. KOLTERMANN, P. SCHLOSSER, J.H. SWIFT et D.W.R. WALLACE. 1989. The first oceanographic section across the Nansen Basin in the Arctic Ocean. Deep-Sea Res. 36:475-482.

ANDERSON, L.G., D. DYRSSEN et E.P. JONES. 1990. An assessment of the transport of atmospheric CO_2 into the Arctic Ocean. J. Geophys. Res. 95:1703-1711.

ANDERSON, L.G. et E.P. JONES. (sous presse) Tracing upper waters of the Nansen Basin in the Arctic Ocean. Deep-Sea Res.

CLARKE, R.A., J.H. SWIFT, J.L. REID et K.P. KOLTERMANN. 1990. The formation of Greenland Sea deep water: double diffusion or deep convection? Deep-Sea Res. 37:1385-1424.

COLONY, R. et A.S. THORNDIKE. 1984. An estimate of the mean field of Arctic Sea ice motion. J. Geophys. Res. 89:10623-10629.

FOLDVIK, A.K., K. AAGAARD et T. TORRESEN. 1988. On the velocity field of the East Greenland Current. Deep-Sea Res. 35:1335-1354.

HANSEN, J., A. LACIS, D. RIND, G. RUSSEL, P. STONE, I. FUNG, R. RUED et J. LERNER. 1984. Climate sensitivity: Analysis of feedback mechanisms. In J.E. Hansen et T. Takahashi (eds.) Climate Processes and Climate Sensitivity (Maurice Ewing Series), N° 5, American Geophysical Union, Washington, D.C.:130-163.

JONES, E.P. et L.G. ANDERSON, 1986. On the chemical properties of the Arctic Ocean halocline. J. Geophys. Res. 91:10759-10767.

JONES, E.P. et L.G. ANDERSON. 1990. On the origin of the properties of the Arctic Ocean halocline north of Ellesmere Island: results from the Canadian ice island. Contin. Shelf Res. 10:485-498.

KRYSELL, M. et D.W.R. WALLACE. 1988. Arctic Ocean ventilation studied by a suite of anthropogenic tracers. Science 242:746-749.

MELLING, H. et E.L. LEWIS. 1982. Shelf drainage flows in the Beaufort Sea and their effect on the Arctic Ocean pycnocline. Deep-Sea Res. 20:967-985.

MOORE, R.M., M.G. LOWINGS et F.C. TAN. 1983. Geochemical profiles in the central Arctic Ocean: their relation to freezing and shallow circulation. J. Geophys. Res. 88:2667-2674.

MOORE, R.M. et J.M. SMITH. 1986. Disequilibria

between ^{226}Ra, ^{210}Pb et ^{210}Po in the Arctic Ocean and the implications for chemical modification of the Pacific water inflow. Earth Planet Sci. Lett. 77:285-292.

OSTLUND, H.G., G. POSSNERT et J.H. SWIFT. 1987. Ventilation rate of the deep Arctic Ocean from Carbon-14 data. J. Geophys. Res. 92:3769-3777.

PERKIN, R.G. et E.L. LEWIS. 1984. Mixing in the West Spitsbergen Current. J. Phys. Oceanogr. 14:1315-1325.

RUDELS, B., D. QUADFASEL, H. FRIEDRIC et M.-N. HOUSSAIS. 1989. Greenland Sea convection in the winter of 1987-1988. J. Geophys. Res. 94:3223-3227.

SMITH, J.N., K.M. ELLIS et E.P. JONES. 1990. Cesium-137 transport into the Arctic Ocean through Fram Strait. J. Geophys. Res. 95:1693-1701.

SWIFT, J.H. et K.P. KOLTERMANN. 1988. The origin of Norwegian Sea deep water. J. Geophys. Res. 93:3563-3569.

WALLACE, D.W.R. et R.M. MOORE. 1985. Vertical profiles of CC13F (F-11) and CC12F2 in the central Arctic Ocean basin. J. Geophys. Res. 90:1155-1166.

WALLACE, D.W.R., R.M. MOORE et E.P. JONES. 1987. Ventilation of the Arctic Ocean cold halocline: rates of diapycnal and isopycnal transport, oxygen utilization, and primary production inferred using chlorofluoromethane distributions. Deep-Sea Res. 34:197-1979.

WASHINGTON, W.M. et G.A. MEEHL. 1986. General circulation model CO_2 sensitivity experiments: snow-sea ice albedo parameterizations and globally averaged surface air temperature. Climate Change (8).

Île de glace canadienne : études environnementales de la marge polaire au nord des îles canadiennes de l'Arctique

P. J. Mudie, K. Ellis, et B. T. Hargrave

P. J. Mudie

K. Ellis

B. T. Hargrave

Il est établi depuis longtemps que la recherche marine a grand besoin d'études sur l'origine tectonique, l'océanographie et l'histoire climatique de l'océan Arctique. Plus récemment, les sujets de recherche suivants ont été fixés pour le Programme international géosphère-biosphère : la connaissance du climat arctique, la dynamique des glaces ainsi que les sources et voies d'entrée des contaminants dans les communautés biotiques. Jusqu'à présent, la couverture permanente de glace de mer qui s'étend du Pôle Nord jusqu'au Groenland et qui suit la marge polaire canadienne a restreint la plupart des études aux eaux limitrophes plus chaudes (ex. : détroit de Fram, mers de Beaufort, de Bering et de Barents), où il est possible de naviguer en été à travers les glaces saisonnières (fig. 1). Jusqu'à récemment, nous ne disposions que de peu ou pas de données sur la plate-forme continentale recouverte d'une banquise qui se trouve au nord de l'archipel Arctique canadien, lequel comprend environ 20% de la marge de l'océan Arctique ainsi que la partie la plus froide et sèche de l'Arctique supérieur.

Depuis 1984, l'occupation d'une station établie sur une île de glace canadienne a permis de rassembler un ensemble unique de nouvelles données scientifiques sur cette région inconnue auparavant. De 1985 à 1989, grâce aux études réalisées à partir de laboratoires construits sur l'île de glace par des employés d'EMR et du MPO appartenant à l'IOB, on a acquis de nouvelles connaissances dans les domaines suivants des sciences environnementales marines : la genèse et la dynamique de la glace de mer arctique; les processus sédimentaires et le cycle du carbone organique particulaire sous la banquise de la marge de l'Arctique supérieur; l'histoire de la couverture de glace de mer et des changements climatiques survenus au Quaternaire et récemment; les processus océanographiques, géochimiques et biologiques qui régissent le transport et le dépôt des sédiments; et les cycles des polluants radiochimiques et organiques dérivés de l'atmosphère dans l'environnement marin et le biote de l'océan Arctique.

Méthodes d'étude sur le terrain

Les îles de glace constituent de rares particularités de la couverture de glace de l'océan Arctique; chaque décennie, il s'en forme quelques unes par clivage d'icebergs tabulaires à partir des plateaux de glace flottants de la rive nord de l'île Ellesmere. Les îles de glace ont une longueur de plusieurs kilomètres et une épaisseur pouvant atteindre 50 km. Elles suivent habituellement une trajectoire circulaire dans l'océan Arctique occidental pendant 5 à 30 ans avant de dériver vers le sud par le détroit de Fram ou les chenaux inter-insulaires (fig. 1). La grande superficie ainsi que la grande stabilité et longévité des îles de glace de l'Arctique en font des plates-formes flottantes utiles pour la recherche géologique et océanographique dans des régions de l'océan Arctique occidental où l'accès par navire est bloqué par la glace de mer permanente, dont l'épaisseur peut atteindre 7 m.

En avril 1983, on a découvert plusieurs îles de glace nouvellement découpées près du plateau de glace Ward Hunt, au nord-ouest de la côte de l'île Ellesmere. En septembre 1984, grâce à des fonds provenant du Programme géoscientifique pour l'énergie des régions pionnières et à la collaboration du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, du ministère des Pêches et des Océans et du Service de l'environnement atmosphérique (SEA), les participants à l'Étude du plateau continental polaire (EPCP) ont pu commencer à construire

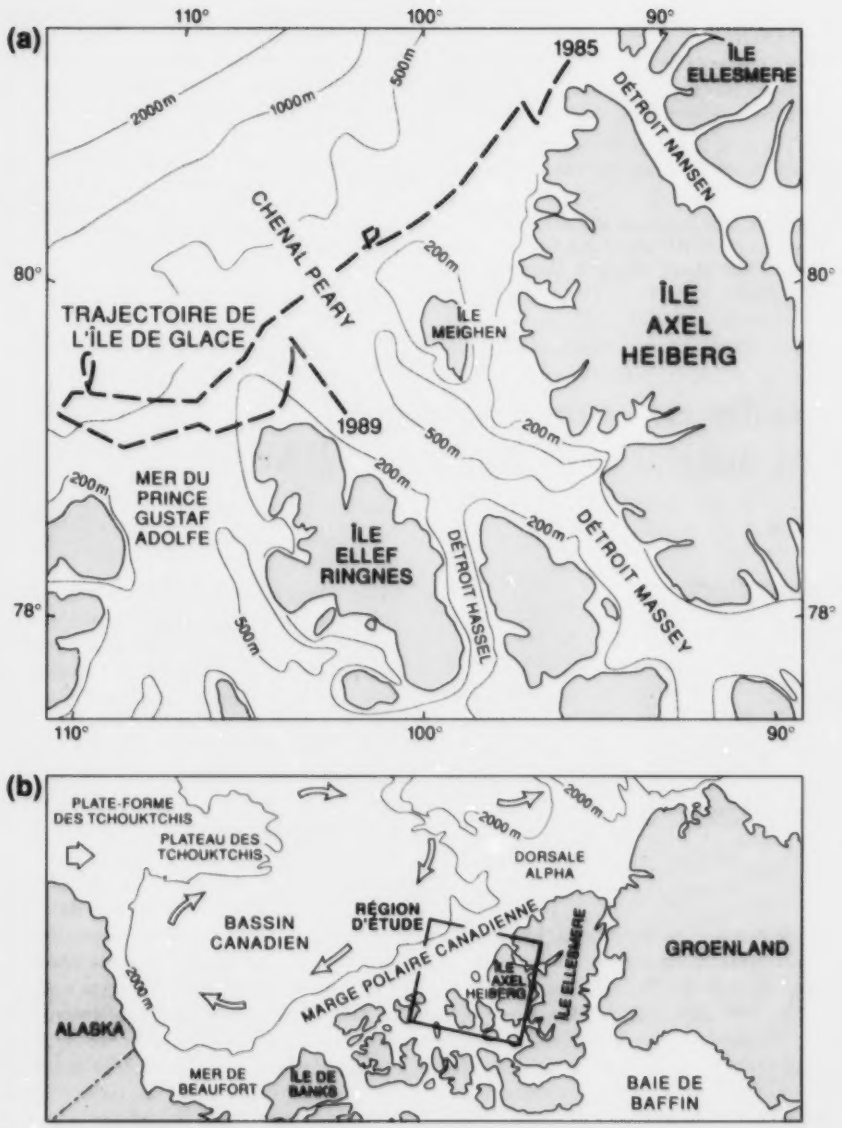


Fig. 1 a) Trajectoire de dérive de l'île de glace canadienne de 1985 à 1989. b) Carte de l'océan Arctique montrant les principaux bassins et plates-formes continentales, le courant giratoire de la mer de Beaufort (flèches blanches) et l'emplacement de la région d'étude sur la marge polaire canadienne.

des installations de recherche sur l'une de ces îles en vue de mener des études géologiques, géophysiques, météorologiques et océanographiques sur la marge continentale au nord de l'archipel Arctique canadien. Le camp qui comprend 14 bâtiments de bois et 6 grandes tentes pourvues d'isolation, peut maintenant accueillir 35 personnes. Un générateur fournit jusqu'à 50 kW d'électricité. Un atelier de mécanique et d'électronique complète le camp. Comme installations scientifiques, le camp comprend un système de navigation SATNAV, une station complexe de sismique-réflexion, un dépôt d'explosifs et une hutte à instruments. Le laboratoire de géologie, qui comporte une section de laboratoire sec pour les expériences de chimie, abrite des treuils de 7 tonnes et de 1 tonne et une alimentation électrique de 50 kW pour les faire fonctionner ainsi qu'un système de chaudière à eau chaude servant à forer des trous (1,3 m sur 1,3 m de diamètre) à travers 44 m de glace sous un support de bôme de 8 m de hauteur (Gorveatt et Chin-Yee, 1988). Le système d'échange de chaleur sert également à forer des trous près du laboratoire de géologie en vue de travaux océanographiques.

Structure et dynamique de l'île de glace

L'île de glace canadienne a une forme elliptique et une superficie d'environ 26 km^2, une masse d'environ 700 x 10^6 tonnes et une épaisseur maximale de 45 m. Des observations, des photographies aériennes et des images radar aériennes ont montré qu'au moment du clivage, l'île se composait de deux types de glace : un noyau d'environ 16,5 km^2 (64% de la surface) et de 42,5 m d'épaisseur composé de glace provenant du plateau et de glace côtière de plusieurs années (GCPA) provenant de la banquise côtière (fig. 2). La GCPA a une épaisseur d'environ 10 m et se rattachait antérieurement à l'avant du plateau de glace Ward Hunt. Depuis le clivage, une surface d'environ 5 km^2 de banquise de plusieurs années s'est aussi attachée du côté opposé du noyau. Sa topographie superficielle en crêtes et en dépressions, appelée "en rouleaux", est caractéristique de toutes les îles de glace. L'eau de ruissellement provenant de la fonte de la neige se rassemble dans les dépressions et forme des lacs au cours de la brève période de fonte estivale, en août.

On a prélevé quatre carottes dans la glace de l'île et effectué des analyses pour cerner l'histoire de sa formation. Les principales mesures qui ont été prises comprennent la conductivité électrolytique spécifique (CES), la teneur en oxygène-18, en deutérium et en tritium, la densité et des mesures cristallographiques. On est en train d'étudier le contenu en sédiments, en spores et en pollen ainsi que la composition en diatomées d'échantillons prélevés au hasard dans l'une des carottes. Les premiers résultats montrent que le noyau de l'île de glace se compose, sur toute son épaisseur, de glace granuleuse, non saline, formée à partir d'eau douce et possédant une densité moyenne de 872 kg/m^3 (Jeffries *et al.*, 1988a,b). D'après les teneurs élevées en tritium anthropique contenues dans la glace, entre 37 m et 42 m de profondeur, la glace du fond se serait accumulée depuis 1963. Des données antérieures recueillies à l'est du plateau Ward Hunt indiquent que le plateau de glace s'est formé pendant une période de 400 à 500 ans au cours de laquelle il y a eu perte de glace en surface, compensée par une accumulation au fond à partir d'une couche superficielle d'eau douce située sous le plateau de glace. Les nouvelles données sur la cristallographie, l'O-18 et le deutérium indiquent que seule la couche la plus inférieure (située à une profondeur de 28 à 30 m) s'est formée à partir de la couche d'eau douce et que la majeure partie de la glace provient des précipitations. Les résultats initiaux de l'étude des sédiments dans la glace montrent que, depuis 2 000 ans, les particules ayant la taille du sable fin, du

limon et de l'argile ne se sont déposées dans la glace qu'à l'état de traces (0,1 g/m^2). Cependant, d'après l'âge de 2 280 ±70 ans qui a été déterminé par une datation au carbone radioactif de la matière organique trouvée dans des trous à cryoconite situés sur une crête, près de la glace de plusieurs années du plateau Ward Hunt, il y aurait des apports périodiques importants de sédiments éoliens et morainiques; le fait que l'on a trouvé des pierres déposées sur le fond marin et dans les carottes de sédiments (Mudie *et al.*, 1986) corrobore cette hypothèse. Au cours de l'été exceptionnellement doux de 1988 (2 à 4°C au-dessus de la normale), des proliférations massives d'algues brunes ont été observées sur l'île de glace et sur la glace de mer entre les îles Meighen et Ellef Ringnes. Ces tâches d'algues brun foncé ressemblent à la glace chargée de particules que l'on retrouve souvent dans la glace de plusieurs années du courant transpolaire (Pfirman *et al.*, 1989). Comme les particules, ces algues brunes des glaces réduisent l'albedo et accroissent la vitesse de fonte de la banquise, malgré la rareté des sédiments clastiques dans la glace de la marge polaire canadienne.

Océanographie

Les connaissances globales relatives à la nature des mouvements de l'eau sur la marge polaire canadienne sont incertaines et de nombreux détails y ayant trait sont inconnus. Au cours des printemps de 1986, de 1988 et de 1989, on a recueilli par hélicoptère des données d'océanographie physique dans le cadre de relevés de la conductivité, de la température, de la profondeur et de la salinité (CTD) effectués à travers la glace. Les résultats indiquent que les eaux qui recouvrent la plate-forme continentale au nord-ouest de l'île Axel Heiberg sont significativement différentes de celles du bassin canadien malgré la profondeur relativement élevée de la plate-forme (environ 400 m en moyenne) et l'absence de grandes forces sur cette plate-forme.

Les relevés de CTD ont délimité une zone frontale qui distingue le régime de la plate-forme du régime du large, à la bordure de la plate-forme. De forts cisaillements du courant qui pénètrent jusqu'à une profondeur de plus de 800 m ont été mesurés à ce front, ce qui indique la présence d'un étroit courant à la bordure de la plate-forme. La présence de sédiments grossiers triés dans la partie supérieure des carottes provenant de ce front est une autre indication de l'existence de ce courant. Le personnel du laboratoire des océans glacés de l'Institut des sciences de la mer prévoit effectuer d'autres études sur cette caractéristique en se servant de bouées à flottabilité nulle pour suivre acoustiquement les mouvements de l'eau.

On a réussi à immerger un courantomètre dans l'Arctique en le fixant relativement au nord géographique à l'aide de tiges d'extension en aluminium, d'une longueur de 48 m, dans le trou servant aux études géologiques marines (Mosher *et al.*, 1988). En 1988, des relevés relatifs à la couche d'eau de fonte ont été effectués pour des périodes de 24 heures. Ces données indiquent de grandes différences saisonnières. Dans la banquise serrée du printemps, seules de très petites oscillations aléatoires ont été décelées; au début de l'été, lorsque de grands chenaux s'ouvrent près de l'île de glace, des oscillations semi-diurnes prononcées ont été enregistrées.

Les scientifiques recueillent actuellement des données océanographiques chimiques en immergeant des bouteilles d'eau dans les trous forés sur l'île de glace à partir d'un camp éloigné situé à la bordure de la plate-forme, au nord de l'île Ellef Ringnes. Ils tentent de caractériser la couche superficielle d'eau de l'Arctique et la couche d'eau provenant de l'Atlantique en mesurant le contenu en matière organique de la matière particulaire en suspension, les isotopes stables dans la matière organique, le carbone inorganique dissous, l'oxygène dissous, les isotopes stables de l'eau (Macko *et al.*, 1986), les radionucléides du ^{137}Cs, du ^{90}Sr, du ^{210}Pb/^{210}Po, du ^{226}Ra et du ^{239,240}Pu ainsi que le tritium, les fréons et les gaz inertes comme le krypton et l'argon (Moore et Wallace, 1988). Les principaux résultats initiaux indiquent que les taux d'utilisation du carbone sous la banquise de la marge polaire canadienne sont parmi les plus faibles de tous les milieux océaniques mondiaux et que l'accumulation d'azote isotopique dans le microbiote et le plancton est extraordinairement élevé (Pomeroy *et al.*, 1989).

Jusqu'à récemment, le ^{137}Cs de l'océan

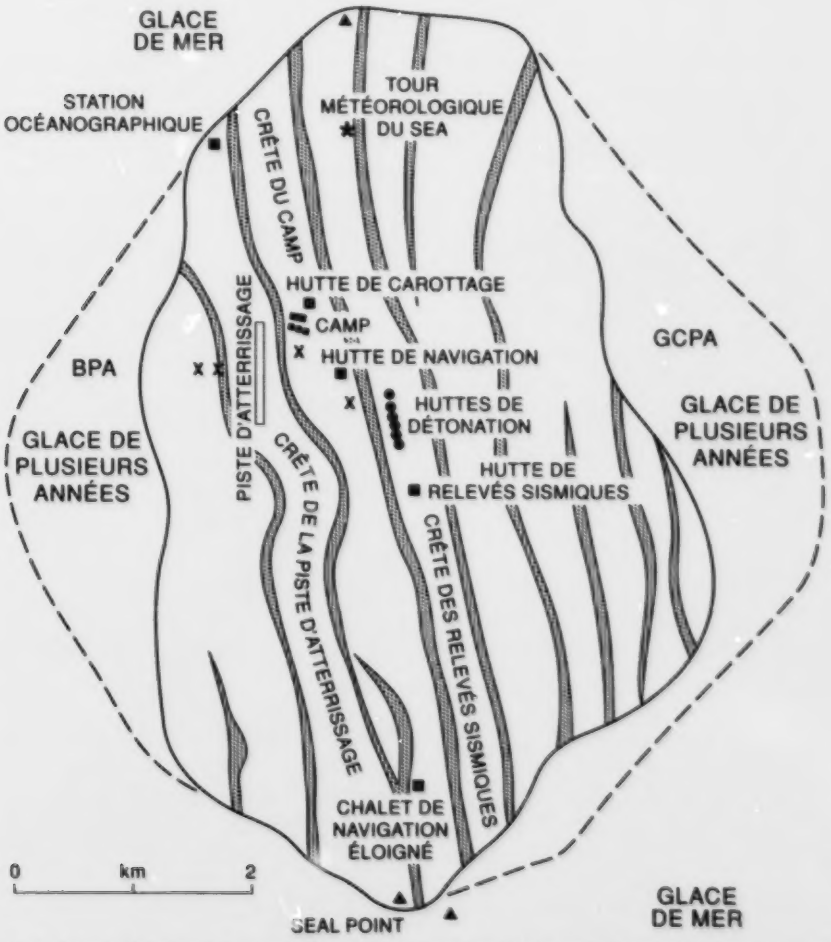


Fig. 2 Principales caractéristiques physiographiques, principales installations du camp et zones de glace boueuse sur l'île de glace canadienne. Les carottes ont été prélevées à partir de la crête située entre la hutte de navigation et les huttes de détonation. GCPA = glace côtière de plusieurs années; BPA = banquise de plusieurs années.

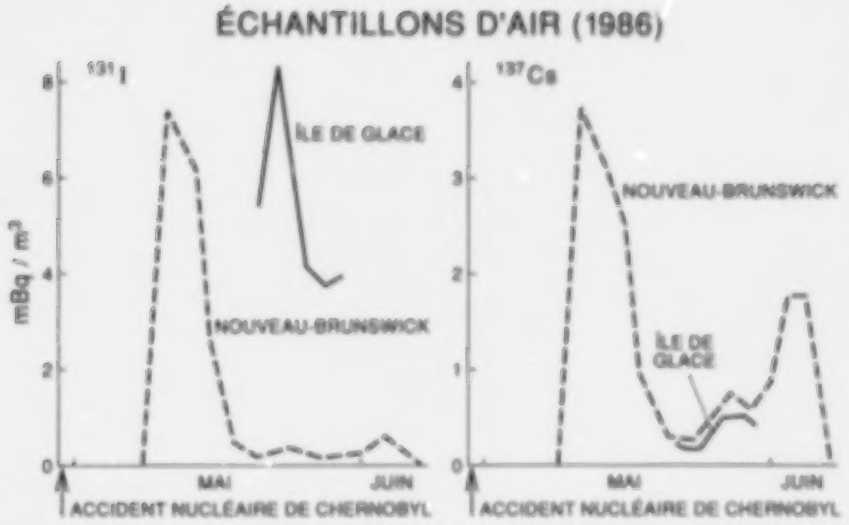


Fig. 3 Comparaison des teneurs atmosphériques du ^{131}I et du ^{137}Cs sur l'île de glace et dans l'est du Canada après l'accident nucléaire de Chernobyl survenu le 16 mai 1986.

Arctique provenait exclusivement d'essais d'armes nucléaires, mais maintenant les apports dus à l'usine de traitement de déchets nucléaires de Sellafield et à l'accident de Chernobyl, survenu en avril 1986, s'y ajoutent. La présence décelée de plusieurs isotopes émis au cours de l'accident de Chernobyl, notamment ^{137}Cs et ^{131}I, dans des échantillons de particules atmosphériques prélevés à l'île de glace, entre le 19 et 31 mai 1986 (fig. 3), confirme les apports atmosphériques de Chernobyl dans l'océan Arctique. Les concentrations élevées de ^{131}I par comparaison avec celles observées dans l'est du Canada (Smith et Ellis, 1990) pendant la même période illustrent l'importance de l'atmosphère dans le transport direct des polluants industriels de l'Europe vers l'Arctique.

À l'aide d'un modèle de transport latéral, on a suivi à la trace, dans l'océan Arctique, le ^{137}Cs provenant des trois sources susmentionnées en vue d'étudier les mouvements des polluants et de déterminer les taux de ventilation de la colonne d'eau. La modélisation des configurations mesurées à l'île de glace (fig. 4), située dans le chenal Peary (1989), et au nord-ouest de l'île Axel Heiberg (1985 et 1986) indique des temps de ventilation semblables. Lorsqu'on compare ces configurations avec celles qui ont été mesurées dans le centre de l'océan Arctique, par l'expédition canadienne d'étude de la dorsale Alpha (CESAR) (Smith et Ellis, 1990), on constate que la ventilation de l'halocline se fait selon une échelle de temps plus longue sur la plate-forme continentale canadienne que dans le centre de l'océan Arctique. À l'heure actuelle, les premières mesures des gaz inertes appuient le modèle de Moore et Wallace (1988), lequel montre que la température de l'eau de surface de l'Arctique peut être régie par le transfert direct de chaleur à la glace de mer. Ce modèle a des conséquences importantes pour l'étude du transfert de chaleur océan-atmosphère et pour la ventilation des bassins profonds.

On utilise les éléments ^{239,240}Pu, ^{210}Po et ^{210}Pb, qui réagissent avec les particules, pour étudier les taux d'élimination. La faible activité du ^{210}Pb et du ^{210}Po dans le centre de l'océan Arctique (Moore et Smith, 1986), en présence de la forte activité de l'élément parent ^{226}Ra indique un taux d'élimination très efficace dans les zones où les concentrations des éléments nutritifs sont maximales; ces dernières sont situées à la limite de la couche d'eau de l'Arctique et de celle de l'Atlantique. Une diminution semblable à cette dernière mais moins prononcée, mesurée pour le ^{210}Po en 1989 dans le chenal Peary, indique un taux d'élimination moindre sur la plate-forme continentale canadienne.

La distribution verticale du ^{239,240}Pu mesurée dans le chenal de Peary en 1989 représente l'une des deux seules distributions connues dans le cas de l'océan Arctique occidental. Les rapports ^{239,240}Pu/^{137}Cs qui ont été mesurés au-dessous de 200 m sont moins élevés que le rapport prévu des retombées (0,0213), ce qui indique un enlèvement très efficace du plutonium des couches de surface par élimination des particules; cependant, les mécanismes sont présentement inconnus. Les faibles activités du ^{210}Pb et du ^{137}Cs qui ont été mesurées dans les carottes de sédiments prélevées sur l'île de glace en 1988 et en 1989 (fig. 5) sont une indication des faibles dépôts atmosphériques de ^{210}Pb dans la région arctique et des taux d'accumulation peu élevés dans les sédiments. Grâce à des analyses de la teneur en ^{210}Pb des échantillons prélevés au hasard, en 1989, au cours de survols en hélicoptère, on a identifié des zones où les taux d'accumulation sont potentiellement élevés en vue de futurs prélèvements de carottes.

Flux verticaux des particules

De septembre 1986 à avril 1987, un piège à sédiments à plusieurs godets a été suspendu à 100 m de profondeur sous l'île de glace. Au cours de cette période, la trajectoire de dérive

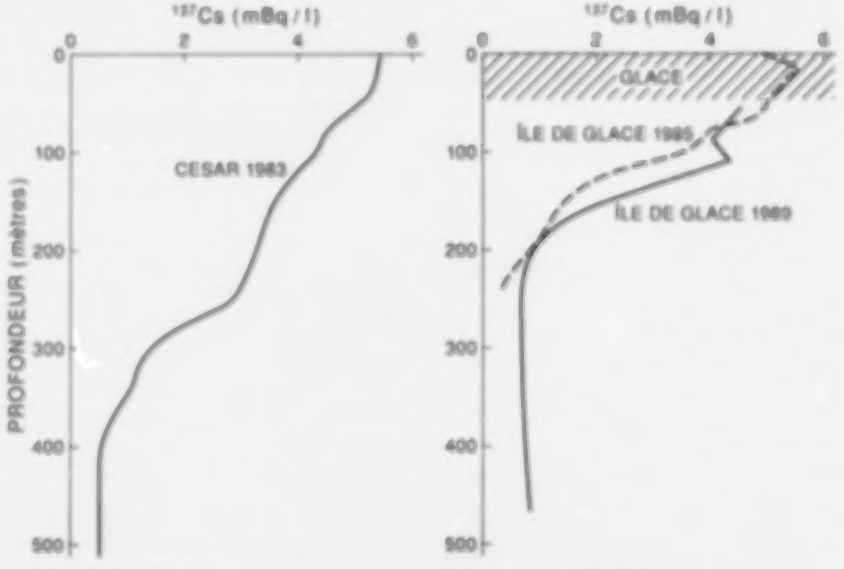


Fig. 4 Distribution du ^{137}Cs dans l'eau de l'océan Arctique central (CESAR) et sous l'île de glace.

de l'île (fig. 1) suivait la marge continentale au large de l'île Axel Heiberg. La sédimentation annuelle des particules, mesurée par la masse totale, ainsi que celle du carbone et de l'azote organiques, sont les plus faibles qui aient été enregistrées dans toutes les régions océaniques du globe (Hargrave *et al.*, 1989). On s'y en attendait, car l'océan Arctique est connu comme le moins productif au monde. L'ordre de grandeur des valeurs annuelles estimatives est d'une fois inférieur à celui qui est prévu d'après les bilans du carbone à l'échelle du globe. Il est probable que les faibles teneurs correspondantes des matières particulaires en suspension dans la colonne d'eau qui se trouve sous l'île de glace, à son emplacement actuel, sur la plate-forme continentale canadienne, expliquent les faibles taux d'élimination des radionucléides susmentionnés.

Les faibles taux de sédimentation mesurés entre 1986 et 1987 n'ont pas été uniformes pendant toute la période de prélèvement. Il est surprenant de constater que le flux maximal de la masse totale enregistré en janvier et que ceux du carbone et de l'azote organiques particulaires, mesurés en février et mars, ont été observés au cours de la période hivernale sombre, période pendant laquelle la production de matière organique par le phytoplancton et les algues croissant sous la glace (épontiques) devrait être minimale. La présence de cellules dans la matière sédimentée recueillie dans le piège indique que les proliférations de diatomées (principalement *Melosira arctica*) ont eu lieu tant au cours des périodes estivales de lumière continue que pendant la saison hivernale sombre. Grâce aux prélèvements de phytoplancton effectués à la traîne dans la colonne d'eau en août 1986, on a constaté qu'il y a également eu des proliférations de la dinoflagellée des eaux saumâtres *Peridiniella catenata*.

Deux pièges à sédiments comprenant au total 35 godets ont été déployés à partir de l'île de glace en septembre 1989 en vue d'être récupérés un an plus tard. L'utilisation d'une plus grande fréquence d'échantillonnage (de 2 à 4 semaines pendant 12 mois) permettra la résolution des variations saisonnières de la sédimentation des particules dans la colonne d'eau.

Transfert des contaminants organiques transportés par l'atmosphère vers la chaîne alimentaire de l'océan Arctique

On s'est servi de l'île de glace comme plate-forme d'échantillonnage afin de dresser un inventaire des hydrocarbures chlorés (contaminants organochlorés) présents dans l'atmosphère, la neige, la glace de mer, l'eau, les sédiments et les organismes marins capturés sous la glace dans l'océan Arctique. Il existe

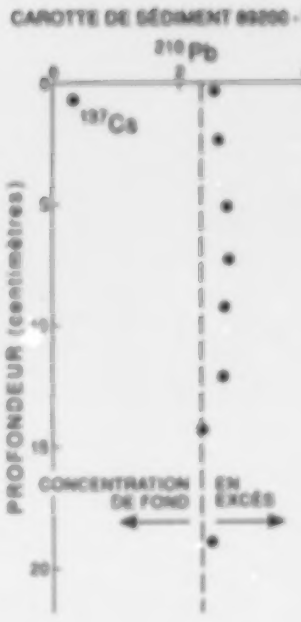


Fig. 5 Profil vertical du ^{210}Pb en excès dans la carotte 89200-F9 dans le chenal Peary.

diverses voies par lesquelles ces pesticides et composés industriels fabriqués par l'homme peuvent entrer dans l'océan : les sources atmosphériques (gaine, neige et retombées de particules), les apports des rivières et les échanges d'eau avec l'océan Atlantique Nord et l'océan Pacifique.

L'atmosphère constitue probablement la principale source d'apport d'organochlorés semi-volatiles dans l'océan Arctique. Ces composés se vaporisent après avoir été appliqués comme pesticides dans les zones agricoles et urbaines du sud. Ils peuvent également être émis par les incinérateurs municipaux et industriels. La présence d'organochlorés semblables dans diverses parties de l'environnement arctique illustre comment le transport atmosphérique a été efficace pour les répartir à l'échelle du globe (Hargrave *et al.*, 1988). Ceci pourrait expliquer comment les autochtones du nord du Canada accumulent ces produits chimiques par leur alimentation même s'il n'existe aucune source locale. Cependant, avant 1986, aucune mesure n'avait été effectuée dans les zones extracôtières de l'océan Arctique. Les données recueillies pour déceler la présence d'organochlorés dans l'air, la neige, l'eau de mer et le biote représentent les premières mesures quantitatives de ces composés dans les eaux au large des côtes du Nord canadien. Ces renseignements de base peuvent servir à déterminer les tendances à long terme de leurs concentrations dans l'océan Arctique.

Les hydrocarbures chlorés les plus abondants dans l'air, dans la neige ainsi que dans l'eau qui se trouve sous l'île de glace sont des isomères de l'hexachlorocyclohexane (HCH) et de l'hexachlorocyclohexène (HCB). Ces pesticides hydrosolubles entrent dans la colonne d'eau par échange de vapeurs et par dépôt humide et dépôt sec des particules. Les couches d'eau superficielles (premiers 60 m), identifiées par leur température, leur salinité et leur teneur en éléments nutritifs dissous caractéristiques, contiennent les plus grandes concentrations de HCH et de HCB (fig. 6). Les profils indiquent que les contaminants qui se trouvent dans les couches superficielles sont transférés de l'atmosphère via le ruissellement de l'eau de fonte des neiges ou par des échanges directs de vapeurs dans les zones d'eau libre. Les concentrations plus faibles mesurées dans l'eau qui se trouve au-dessous de 200 m reflètent les échanges d'eau qui se font avec la couche profonde de l'océan Atlantique Nord.

Pour effectuer l'échantillonnage biologique à partir de l'île de glace, on s'est servi de filets à plancton et de pièges appâtés placés sur le fond pour attirer les crustacés détritivores. Les analyses du plancton, des matières particulaires et d'organismes comme les amphipodes benthiques (fig. 7) montrent que leurs teneurs en pesticides moins solubles dans l'eau comme le DDT et les BPC sont 10 à 1 000 fois supérieures aux concentrations observées dans l'eau. Les composés chlorés, dont les concentrations dans l'air et en solution dans l'eau sont les plus faibles, sont les plus abondants dans le biote océanique en raison de leur affinité pour les lipides. Bien que leurs concentrations soient généralement parmi les plus faibles mesurées chez le plancton marin des latitudes plus méridionales, le DDT et les composés du chlordane, les PCB et le toxaphène (camphènes polychlorés, CP) sont présents en des concentrations relativement élevées (µg/g de lipide ou ppm) dans les crustacés planctoniques et benthiques. Les mêmes composés se retrouvent dans des concentrations équivalentes ou légèrement moindres dans les échantillons de foie de poissons. On n'a décelé ni le DDT ni les CP dans les échantillons d'air recueillis antérieurement à ces latitudes élevées. Leur source la plus probable semble être le transport à longue distance à partir de la Sibérie et de l'Asie. Il nous faut poursuivre ces études pour déterminer si les concentrations des organochlorés dans le biote indiquent des tendances en fonction du temps. Si l'île de glace dérive dans d'autres régions de l'océan Arctique, nous pourrons réaliser d'autres études et comparer les concentrations mesurées dans différentes régions.

Géologie du milieu marin

De 1985 jusqu'à aujourd'hui, les sédiments de surface et le biote benthique de la marge polaire canadienne ont été échantillonnés et cartographiés, au printemps et en été; l'île de glace a servi de base permanente pour des relevés bathymétriques continus (12 kHz), l'établissement de profils sismiques peu profonds à haute résolution (3,5 kHz), la photographie du fond marin, l'échantillonnage par bennes et par dragage et le carottage à l'aide de carottiers Benthos fonctionnant par gravité ou à pistons descendus par le trou foré dans la glace. Depuis 1987, au moyen de l'hélicoptère, nous avons étendu notre champ d'échantillonnage régional, au printemps, à toute la marge polaire, où le fond marin est échantillonné par des trous forés dans les chenaux gelés de la banquise.

Les importants résultats qui suivent ont été dégagés de ces expériences : 1) Cinq faciès sédimentaires de la fin du Quaternaire peuvent être largement corrélés à des profondeurs de 120 à 300 m sur la plate-forme intérieure, mais sur la plate-forme extérieure et le talus, jusqu'à 1 200 m, on ne trouve qu'un placage (10 cm) de boue calcaire de l'Holocène post-glaciaire qui recouvre des dépôts silticlastiques massifs charriés par la glace, probablement à la fin du Wisconsin (Hein *et al.*, 1990). 2) Le lithofaciès, les foraminifères, ptéropodes et palinomorphes

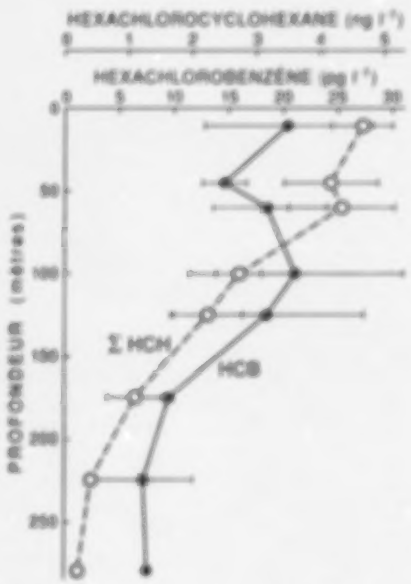


Fig. 6 Profils verticaux de la colonne d'eau sous l'île de glace (1986-1987) montrant les moyennes (cercles) et l'écart-type (lignes horizontales) (n = 3 à 6) des concentrations des deux composés organochlorés les plus abondants dissous dans l'eau de mer (de Hargrave et al., 1988).

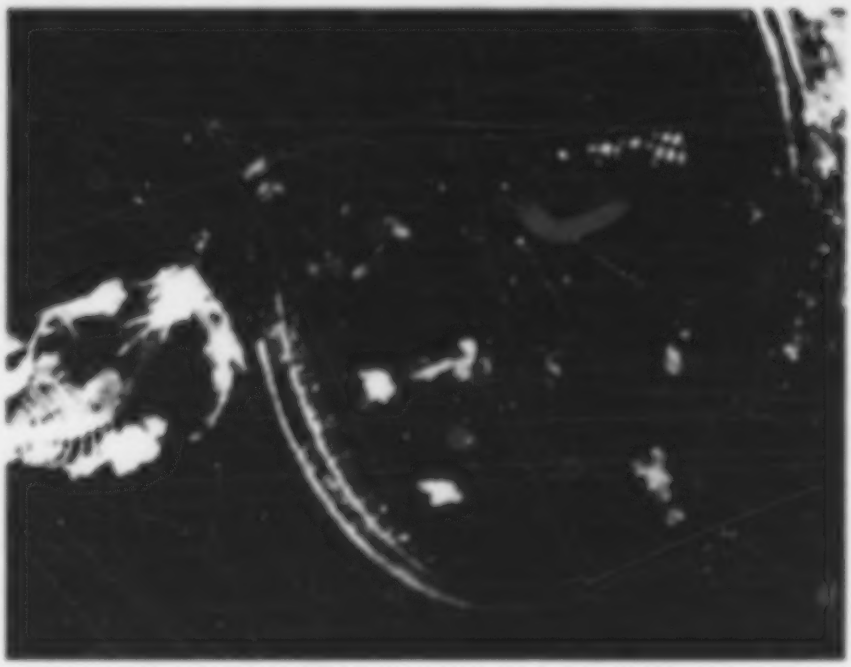


Fig. 7 Des pièges appâtés exposés sur le fond pendant quelques heures seulement lorsque l'île de glace ne dérive pas attirent de nombreux amphipodes détritivores comme Ymenops cicada. *Ces derniers et d'autres petits organismes concentrent les pesticides organochlorés et les BPC de l'eau de mer et des matières particulaires en suspension. Ces contaminants sont transportés à la surface de la glace dans la neige, la poussière et les vapeurs. La chaîne trophique marine est donc liée directement au transport atmosphérique de ces contaminants industriels.*

benthiques et planctoniques, reflètent des fluctuations dans la couverture de glace de tout un océan glaciaire ainsi que des variations dans les quantités de détritus charriés par la glace et déposés au cours de l'intervalle post-glaciaire de l'Holocène (7 000 ans environ avant l'Actuel). Les propriétés sédimentologiques ou géotechniques ne fournissent aucune preuve évidente indiquant la présence de glace continentale échouée sur la plate-forme au cours du dernier cycle glaciaire. 4) Des structures d'une faille synsédimentaire observées dans des carottes prélevées à partir d'une crête de socle rocheux indiquent cependant des ajustements isostatiques récents à la charge de glace ou un phénomène tectonique sur cette marge polaire inhabituellement profonde. 5) Une faune benthique calcaire et siliceuse particulière à l'Arctique supérieur vit sous la glace permanente et caractérise les sédiments de la fin de l'Holocène; cette faune semble être adaptée à des vitesses moyennes très lentes d'apport de sédiments organiques et inorganiques (2,2 g/m²/an) et à des apports sporadiques plus importants de détritus charriés par la glace, ce qui donne un taux de sédimentation moyen d'environ 1 cm/1 000 ans. 6) Des démosponges siliceuses (*Geodia* sp. cf. *G. phlegraei*) forment des monticules de récifs sur la plate-forme continentale intérieure et sont réparties selon un zonage évident, fonction de la profondeur (fig. 8); cela indique qu'il s'est produit une élévation relative du niveau de la mer ou un déplacement de la pycnocline (de 20 à 60 m) au cours des derniers 400 à 1 000 ans (Von Wagoner *et al.*, 1989). Ces organismes jouent aussi un rôle important en captant et en stabilisant les sédiments fins charriés par la glace sur la marge polaire de l'Arctique supérieur.

Conclusion

L'île de glace canadienne s'est révélée une plate-forme stable et utile à partir de laquelle une large gamme d'études scientifiques ont pu être menées en vue de fournir de nouvelles données sur une partie de l'océan Arctique inconnue auparavant. L'île de glace se trouve maintenant dans le chenal Peary, où la profondeur de l'eau est d'environ 500 m, et on espère qu'elle se déplacera vers le nord dans le courant giratoire de la mer de Beaufort après le bris de la glace du chenal au printemps. Cependant, même si elle reste dans le chenal Peary, elle demeurera le seul laboratoire à partir duquel on peut déployer un imposant et lourd matériel dans les eaux canadiennes les plus septentrionales, lesquelles ne peuvent être

estimées par les brise-glace canadiens. On prévoit dans l'avenir faire l'essai de véhicules télémanipulés dans le but d'établir des profils à l'aide de sondeurs et de photographier le fond marin. On pourrait en outre faire l'essai, à partir de l'île de glace, de plusieurs petits systèmes de forage, d'un système sonar à balayage latéral Mesotech et d'autres outils de cartographie pouvant être installés sur un brise-glace canadien de classe 8.

Références bibliographiques

GORVEATT, M. et M. CHIN-YEE. 1988. Arctic Ice Island coring facility. Proc. Oceans '88:555-560.

HARGRAVE, B.T., W.P. VASS, P.E. ERICKSON et B.R. FOWLER. 1988. Atmospheric transport of organochlorines to the Arctic Ocean. Tellus 40B:480-493.

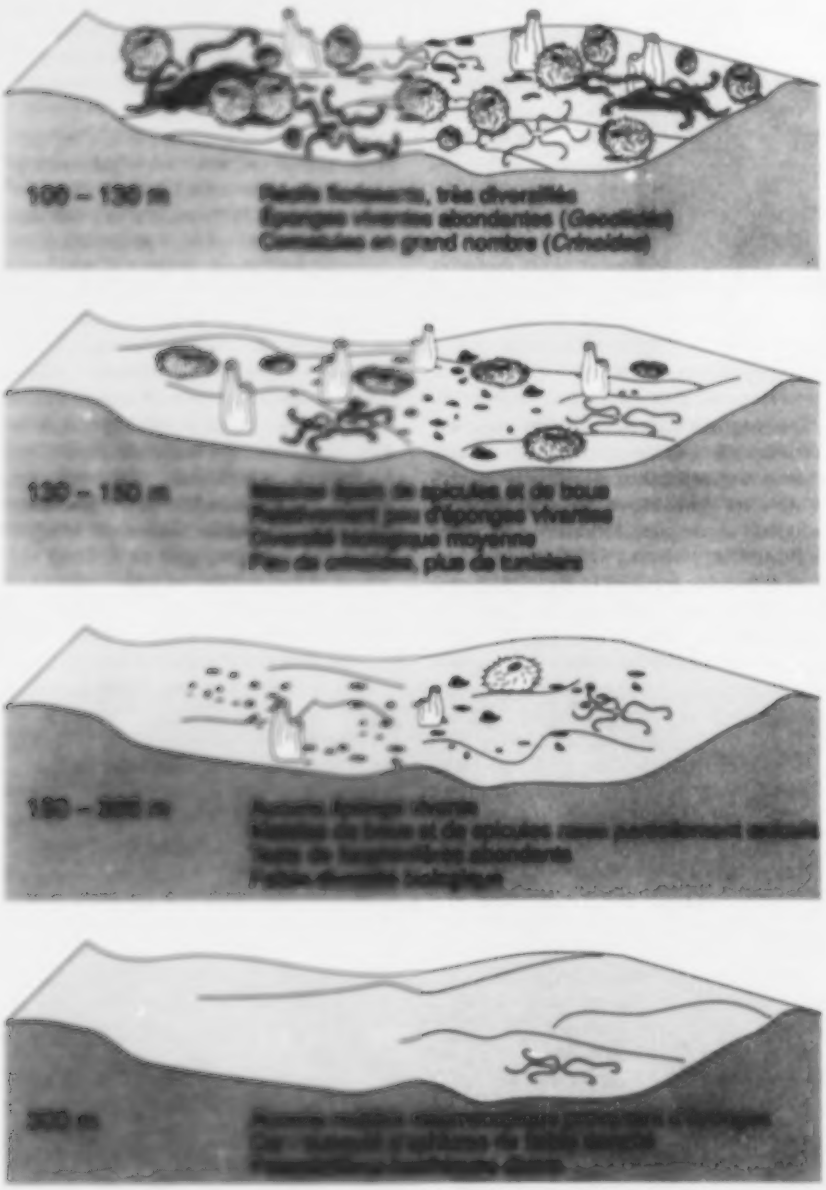


Fig. 9. Répartition selon la profondeur des récifs d'éponges arctiques au nord de l'île Axel Heiberg.

HARGRAVE, B.T., B. VON BODUNGEN, R.J. CONOVER, A.J. FRASER, G. PHILLIPS et W.P. VASS. 1989. Seasonal changes in sedimentation of particulate matter and lipid content of zooplankton collected by sediment trap in the Arctic Ocean off Axel Heiberg Island. Polar Biol. 9:467-475.

HEIN, F.J., N.A. VAN WAGONER et P.J. MUDIE. 1990. Sedimentary facies and processes of deposition: Ice Island cores, Axel Heiberg Shelf, Canadian polar continental margin. Mar. Geol. 93:243-266.

JEFFRIES, M.O., W.M. SACKINGER et H.D. SHOEMAKER. 1988a. Geometry and physical properties of ice islands. In: W.M. Sackinger et M.O. Jeffries (eds.). Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Vol. 1. Geophysical Institute, University of Alaska:69-82.

JEFFRIES, M.O., W.M. SACKINGER, H.R. KROUSE et H.V. SERSON. 1988b. Water circulation and ice accretion beneath Ward Hunt Ice Shelf (Northern Ellesmere Island, Canada) deduced from salinity and isotope analysis of ice cores. Annals of Glaciology 10:68.

MACKO, S.A., A.E. AKSU et P.J. MUDIE. 1986. Paleoclimatic history of the Nansen Sound area, Arctic Ocean. Geol. Soc. Am. Abstr. 99:678.

MOORE, R.M. et J.N. SMITH. 1986. Disequilibria between ^{226}Ra, ^{210}Pb et ^{210}Po in the Arctic Ocean and the implications for chemical modification to the Pacific water overflow. Earth Planet Sci. Lett. 77:285-292.

MOORE, R.M. et D.W.R. WALLACE. 1988. A relationship between heat transfer to sea ice and temperature-salinity properties of Arctic Ocean waters. J. Geophys. Res. 93, N° C1, 565-571.

MOSHER, D.C., P.J. MUDIE et G.V. SONNICHSEN. 1988. Ice Island sampling and investigation of sediments. Field Report, Atlantic Geoscience Centre Open File 2043:42 p.

MUDIE, P.J., M.J. DABROS et A. REDDEN. 1986. Ice Island sampling and investigation of sediments. Field Report, Atlantic Geoscience Centre Open File 2211:47 p.

PFIRMAN, S., J.-C. GASCARD, I. WOLLENBURG, P.J. MUDIE et A. ABELMAN. 1989. Particle-laden Eurasian Arctic sea ice: observations from July and August 1987. Polar Res. 7:59.

POMEROY, L.R., S.A. MACKO, P. HARRIGAN et J. DUNPHY. (présenté). The microbial food web in Arctic seawater: concentration of dissolved free amino acids, bacterial abundance and activity in the Arctic Ocean and in Resolute Passage. Mar. Ecol. Prog. Ser.

SMITH, J.N. et K.M. ELLIS. 1990. Time dependent transport of Chernobyl radioactivity between atmospheric and lichen phases in eastern Canada. J. Environ. Radioact. 11:151-168.

VAN WAGONER, N.A., P.J. MUDIE, F.E. COLE et G. DABORN. 1989. Biological zonation and recent sea level change on the Arctic margin: Ice Island results. Can. J. Earth Sci. 26: 2341.

La recherche en hydroacoustique

N. A. Cochrane et D. Sameoto

N. A. Cochrane et D. Sameoto

Dans les années 1950-1960, les techniques d'échosondage haute fréquence révélaient des couches réfléchissantes et des cibles isolées d'origine biologique. A la fin des années 1970, l'Institut océanographique de Bedford (IOB) s'est engagé dans des programmes de détection acoustique des poissons et du zooplancton. La miniaturisation de l'électronique, l'emploi généralisé de techniques numériques et les progrès de l'interprétation théorique ont propulsé les études hydroacoustiques dans une phase de croissance rapide. Les techniques de détection acoustique permettent d'obtenir une vision non intrusive en deux dimensions de milieux biologiques diffusants avec une rapidité et une résolution spatiale qui n'étaient pas réalisables avec les filets traditionnels ou d'autres modes d'échantillonnage "ponctuel". Mais l'enthousiasme initial pour l'emploi de l'hydroacoustique est souvent tempéré lorsque l'on se rend compte de la difficulté d'identifier les propriétés spécifiques des cibles biologiques mises en évidence. Pourtant, le problème n'est pas insurmontable et l'objectif d'utiliser la méthode acoustique comme outil quantitatif, simple et rapide, pour les travaux courants de levé et de cartographie biologiques est bien réaliste et réalisable.

Avant d'aborder le programme de l'IOB pour la détection acoustique du zooplancton, voyons certains principes de base. La détection hydroacoustique fait appel à des techniques évoluées d'échosondage sous-marin. Des ondes acoustiques émises par un transducteur, consistant en une courte impulsion sonore d'une longueur d'onde ou d'une fréquence acoustique donnée, se propagent dans l'eau, souvent sur une distance considérable, jusqu'à ce qu'elles rencontrent un objet dont les propriétés acoustiques contrastent avec celles de l'eau. Une partie du signal acoustique est alors diffusée ou reradiée, et une certaine proportion retourne au transducteur, qui joue maintenant le rôle de récepteur. Le signal retourné est enregistré et soumis à une analyse quantitative.

L'intensité relative du signal "rétrodiffusé", après l'application de corrections destinées à éliminer les pertes d'intensité dues à la propagation, dépend du contraste entre les propriétés physiques de l'organisme diffusant et celles de l'eau de mer, des dimensions de l'organisme et de son orientation, ainsi que du rapport entre ces dimensions et la longueur de l'onde acoustique. En théorie, le zooplancton diffuse le son avec une efficacité faiblement dépendante de la longueur de l'onde acoustique lorsque celle-ci est inférieure aux dimensions spatiales d'un volume sphérique équivalent à celui du zooplancton (diffusion géométrique). Lorsque les ondes acoustiques sont plus longues, les niveaux de rétrodiffusion diminuent rapidement (diffusion de Rayleigh) et les organismes diffusants, à moins d'être très nombreux, deviennent vite indétectables. D'une manière générale, l'obtention de renseignements sur leur taille dépend de l'observation de la longueur d'onde de transition de la diffusion de Rayleigh à la diffusion géométrique, ou de la fréquence acoustique correspondante. En interprétant par la théorie de la diffusion les observations de l'intensité des signaux rétrodiffusés, dans une large plage de fréquences différentes, on devrait pouvoir déterminer les propriétés de dimensions et d'abondance d'une population de zooplancton de taille uniforme ou même de tailles variées. C'est une tâche difficile, tant du point de vue analytique que par les instruments complexes qu'elle exige.

Une conséquence pratique, c'est qu'un échosondeur ne "voit" les organismes que jusqu'à une taille limite minimale, déterminée par la fréquence opérationnelle de l'instrument (de plus hautes fréquences permettent de voir de plus petits organismes). Les fréquences comprises entre 50 kHz et 1 MHz devraient être les plus utiles pour l'observation de zooplancton d'une longueur comprise entre quelques centimètres (euphausiacés et crevettes) et environ 1 mm (petits copépodes). La très rapide augmentation de l'absorption du son dans l'eau de mer aux fréquences supérieures à 50 kHz est une sérieuse contrainte. Pour détecter le zooplancton jusqu'aux profondeurs maximales du plateau continental, atteignant 300 m, il faut remorquer en profondeur, à proximité de leur cible, les sonars utilisant une longueur d'onde supérieure à 200 kHz, ce qui est un défi technique.

En 1970, le Laboratoire d'écologie marine (LEM) de l'IOB fit l'acquisition d'un échosondeur Simrad de 120 kHz. Au cours de trois croisières réalisées entre 1972 et 1974, ce sondeur fut utilisé pour reconnaître des couches d'euphausiacés en migration diurne dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent. On observa des corrélations prometteuses entre, les estimations d'abondance du zooplancton d'après les échogrammes sur papier et les échantillonnages au filet bongo et, la productivité primaire d'après les mesures de la chlorophylle (Sameoto, 1976). On se rendit compte cependant qu'il faudrait disposer d'un système d'enregistrement des données acoustiques quantitatives permettant d'appliquer à posteriori un traitement informatique avancé, et qu'il faudrait disposer aussi d'un système de filets plus adaptable et efficace. Dès le milieu des années 70, ces problèmes furent partiellement résolus, grâce à l'addition d'un enregistreur sur bande à instrumentation analogique pour signaux acoustiques, permettant de numériser les données après la campagne, et à la mise au point de l'échantillonneur télécommandé BIONESS à dix filets. Les études de laboratoire et les études théoriques publiées

à la fin des années 1970 montrèrent que la diffusion du son par des organismes allongés en forme de crevettes, tels que les euphausiacés, dépendait fortement de leur orientation. Pendant les croisières de 1976 et 1977 dans le golfe du Saint-Laurent, des caméras montées sur le BIONESS révélèrent que les orientations naturelles des euphausiacés devenaient plus aléatoires aux heures d'obscurité, ce qui réduisait sensiblement la puissance des cibles acoustiques (Sameoto, 1980).

En 1977, 78 et 79, les sondages acoustiques et les échantillonnages au BIONESS furent étendus au rebord et au glacis de la Plate-forme néo-écossaise. À nouveau, des schémas fortement diurnes furent observés, tant par les techniques acoustiques que par le BIONESS. Mais la communauté biologique comprenait de nombreux éléments, et elle était bien plus complexe que dans le golfe (Sameoto, 1982). Il apparaissait clairement que pour donner une interprétation fiable des résultats des sondages acoustiques, il faudrait utiliser des fréquences multiples afin de séparer par tailles les populations visées par ces sondages. A cette époque, les spécialistes de l'IOB en océanographie physique commençaient à s'intéresser à l'utilisation de la rétrodiffusion des signaux acoustiques pour délimiter les ondes internes et les mélanges turbulents associés aux flux de marée au bord de la plate-forme néo-écossaise. La Division de la Métrologie du Laboratoire océanographique de l'Atlantique (LOA) comprit qu'il y avait un terrain commun entre ses importantes activités acoustiques et les activités biologiques. En 1981, le LEM et le LOA firent en commun l'acquisition de deux échosondeurs Datasonics double voie, à contrôle de gain de précision, pour remplacer le sondeur Simrad, moins précis. Jusqu'à présent, les sondeurs Datasonics, auxquels des modifications ont été régulièrement apportées, constituent l'essentiel de notre instrumentation de terrain.

En mai 1983, on a procédé dans le bassin Emerald à une étude des réactions d'organismes diffusants nocturnes à la présence en surface de lumières artificielles (Sameoto et al., 1985). En allumant une puissante lampe halogène au quartz et en la dirigeant vers le fond, on provoquait une chute radicale et pratiquement instantanée de l'intensité de la rétrodiffusion, surtout dans les 30 mètres supérieurs. La réaction très rapide comportait un changement d'orientation des organismes diffusants. Par leur caractère diffus, les couches diffusantes semblaient indiquer des cibles plus nombreuses que des poissons, tandis que le fait qu'elles soient observables à 50 kHz indiquait des cibles de taille au moins centimétrique. Les euphausiacés furent considérés comme les premiers suspects, explication qui était compatible avec les rassemblements nocturnes de ces organismes dans la partie supérieure de la colonne d'eau, observés précédemment dans le golfe.

Deux innovations ultérieures ont permis une comparaison quantitative intervoies fiable des intensités absolues de diffusion. La première était un système embarqué d'enregistrement numérique en temps réel à quatre voies, développé par la Division de la Métrologie et mis en service en octobre 1983. La seconde, une méthode de laboratoire permettant de réaliser un étalonnage d'une précision absolue par réflexion d'impulsions acoustiques sur un plan d'eau dans un réservoir fermé, technique utilisée pour la première fois au début de 1985. La même année a vu la première utilisation du système d'analyse d'images PERCEPTRON de l'IOB pour afficher des échogrammes sous une forme analogue aux images LANDSAT multispectrales en fausses couleurs. Dans cette application, des échogrammes de deux ou plusieurs fréquences étaient superposés en couleurs primaires contrastantes. Il était facile de séparer des communautés biologiques de tailles différentes d'après la couleur résultante. Cela s'est révélé précieux pour l'inspection initiale des bases de données et la sélection de données en vue de l'analyse quantitative.

En 1984, on a entrepris une étude multidisciplinaire intensive de la biologie des bassins internes de la plate-forme néo-écossaise, étude qui touche seulement à sa fin. Les bassins - dont le plus profond, le bassin Emerald, atteint 270 m - sont des zones profondes isolées et fermées, entourées par une plate-forme continentale dont la profondeur est généralement de l'ordre de 80 à 150 m. On supposait que la circulation réduite dans les parties profondes des bassins pourrait assurer un environnement relativement protégé, à long terme, pour le développement du zooplancton. C'est en juin 1984 qu'a été réalisée dans le bassin Emerald la première étude acoustique intensive multifréquences entièrement quantitative. Un horizon diffusant diurne, largement répandu dans tout le bassin au-dessous de 150 m, montrait des intensités de rétrodiffusion comparatives, à 50 et à 200 kHz, qui faisaient penser à du grand zooplancton, peut-être des euphausiacés. Cependant, tant les compteurs optiques montés sur BATFISH que le BIONESS révélaient de fortes densités de grands copépodes (1000 à 2000/m^3) dans la même zone de profondeur. Le BIONESS indiquait aussi de très faibles concentrations d'euphausiacés, typiquement 0,1/m^3. Il y avait là un dilemme puisque, d'après la théorie de la diffusion, ni des copépodes de 2 à 3 mm de long, ni des euphausiacés au niveau d'abondance observé par le BIONESS, n'auraient été suffisants pour produire les niveaux de rétrodiffusion observés.

Néanmoins, une diffusion acoustique provenant de copépodes constituait notre première hypothèse de travail. Pour concilier la théorie et les résultats expérimentaux, il fallait supposer des paramètres physiques irréalistes pour les copépodes, approche dont il existait un

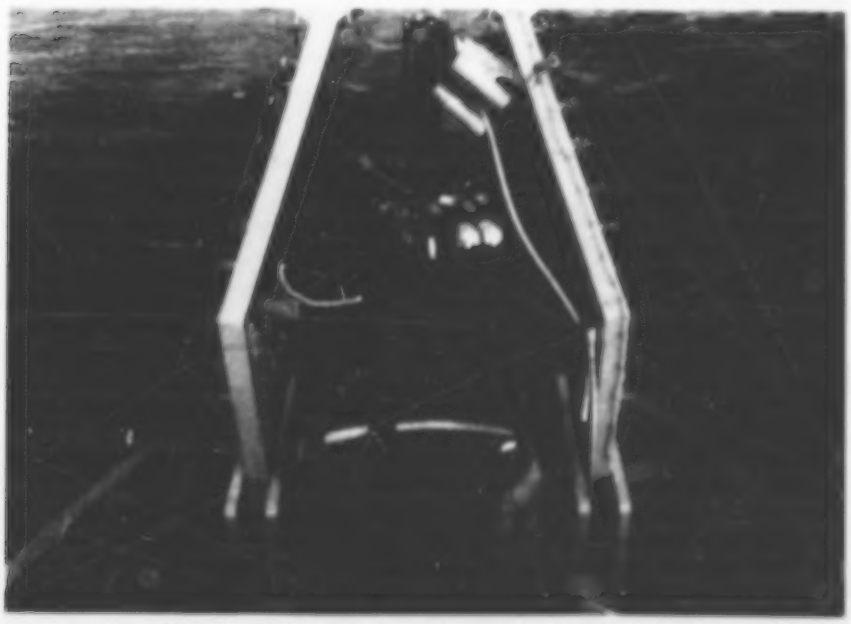


Fig. 1 L'échantillonneur BIONESS à dix filets-collecteurs. Les filets sont descendus sur ordre de la surface, ce qui permet d'échantillonner le zooplancton à une profondeur déterminée.

précédent dans les références (Cochrane et Sameoto, 1987). Cependant, une comparaison détaillée de profils de copépodes établis d'après les données du compteur optique et de la rétrodiffusion au sonar, tout en indiquant une corrélation générale, a révélé certaines contradictions importantes. D'autres données recueillies dans ce bassin en 1985 et 86, notamment des enregistrements de rétrodiffusion provenant d'un sonar Doppler RDI 150 kHz monté sur le fond, ont révélé un cycle migratoire diurne qui n'avait pas été observé par l'échantillonnage profond des copépodes au filet. Le cycle diurne semblait établir une relation entre la couche diurne profonde et une couche nocturne proche de la surface, observée lors de l'expérience de 1983 utilisant la lumière. On a poursuivi les recherches sur des modèles de la diffusion acoustique par les euphausiacés. Une modélisation de cette diffusion dans la bande de 50-200 kHz s'est révélée difficile, car il fallait, pour des organismes allongés de cette taille, tenir compte de leur orientation. Une importante série de communications théoriques (Stanton, 1987, 1988) traitant de la diffusion provenant de cibles cylindriques en fonction de l'orientation nous a aidés à résoudre ce problème. Nous avons développé pour la modélisation avant et inverse du zooplancton, des algorithmes basés à la fois sur la sphère liquide traditionnelle et sur les nouveaux modèles cylindriques de Stanton. Les modèles cylindriques permettaient de spécifier une orientation fixe ou présentant un certain caractère aléatoire, compatible avec les études exécutées précédemment dans le golfe du Saint-Laurent au moyen de caméras. En prenant les intensités de rétrodiffusion observées à 50 et 200 kHz, nous avons utilisé l'ordinateur pour établir des estimations optimales de longueur et de concentration des organismes, en supposant qu'il s'agisse d'une population d'animaux de même dimension. Ces estimations comportaient une incertitude considérable, étant donné que les euphausiacés ne sont que très approximativement cylindriques, que l'on n'observe jamais dans la réalité des populations dont tous les éléments sont de même taille et que l'ouverture de faisceau limitée de nos transducteurs introduisait un élément aléatoire supplémentaire en ce qui concerne les orientations des cibles, elles-mêmes imparfaitement connues.

En juin 1988, on a obtenu un ensemble de données de qualité supérieure dans les bassins Emerald et La Have, à des fréquences de 50 et 200 kHz. Des enregistrements ont été exécutés sur une voie supplémentaire à la fréquence de 12 kHz pour distinguer les poissons du zooplancton (Cochrane *et al.*, en préparation). Simultanément, le chalutier N.S.C. *Alfred Needler*, travaillant avec le N.S.C. *Dawson*, a traîné au milieu de l'eau des chaluts à maille de 1 cm, pour réaliser des échantillonnages de poissons et de grands euphausiacés, à des profondeurs choisies d'après les données des sondages acoustiques à 12 kHz, recueillies sur le *Dawson*. La figure 2 montre un exemple typique de la rétrodiffusion diurne d'un volume en fonction de la profondeur, avec des données recueillies dans la partie centrale du bassin Emerald. Une couche de poissons localisée entre 250 m et l'écho du fond, à 270 m, est caractérisée par des niveaux de diffusion à peu près semblables à des fréquences de 50 kHz et 200 kHz et par une signature relativement forte à 12 kHz. L'échantillonnage a révélé que cette couche était constituée en grande partie de merlu argenté, espèce non commerciale au Canada mais représentant une biomasse importante dans l'écosystème de la plate-forme néo-écossaise. Au-dessus apparaît un horizon qui diffuse fortement à 200 kHz et moins fortement à 50 kHz, mais qui est indétectable à 12 kHz. Cet horizon, concentré surtout entre 230 m et 240 m de profondeur, mais détectable dans des eaux de seulement 150 m de profondeur, correspond à la couche largement répandue que l'on avait observée dans la coupe transversale du bassin en 1984.

Appliqué à cette couche, notre modèle de cylindre inverse a donné une densité d'organismes diffusants de 1,6 cm de long de 170/m^3. La longueur se situe dans la gamme de taille typique des euphausiacés, mais elle est inférieure à la longueur médiane de 2,8 cm observée dans les échantillons prélevés au BIONESS. En faisant concorder la taille des organismes avec les échantillons du BIONESS, on obtient des concentrations de 20 à 50/m^3. Une extrapolation empirique indirecte fondée sur des observations du krill de l'Antarctique suggère une concentration d'environ 10/m^3.

En 1988, les densités des euphausiacés

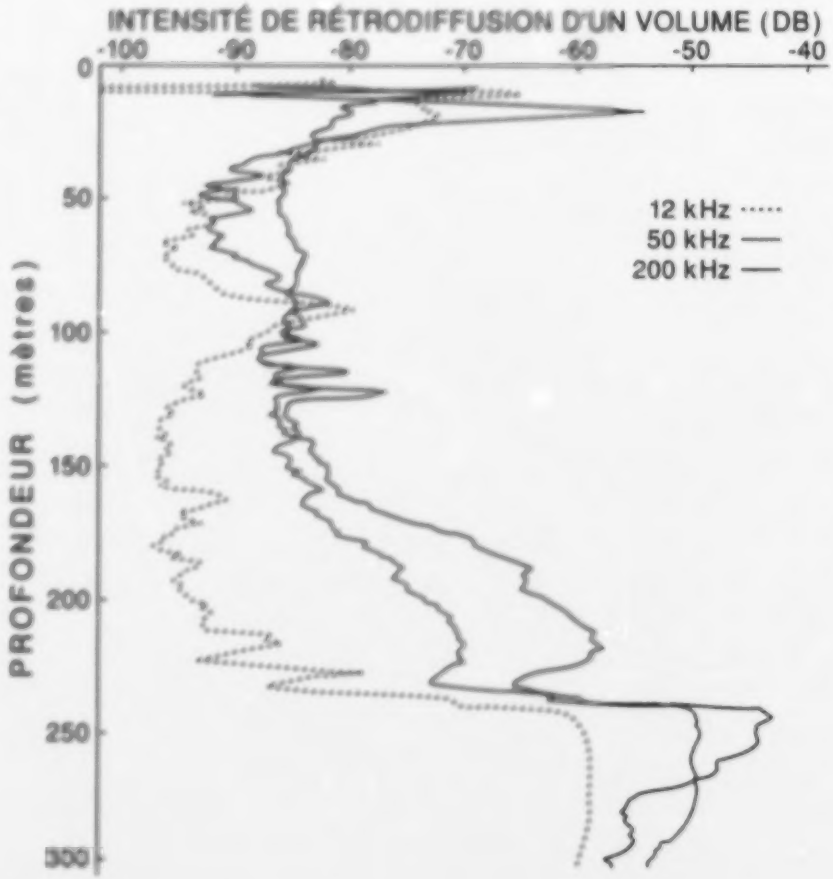


Fig. 2 Profils d'intensité de rétrodiffusion d'un volume, en fonction de la profondeur, à des fréquences de 12, 50 et 200 kHz (données enregistrées dans la partie centrale du bassin Emerald). On a établi ces profils en faisant des moyennes de 300 transmissions acoustiques, ou de 5 minutes de données, à partir du 11 juin 1988 à 1455 HAE. Le fond correspond à l'accroissement rapide des niveaux de diffusion à une profondeur d'environ 270 m.

échantillonnés au BIONESS sont encore de l'ordre de 0,1/m³, ce qui confirme la déduction, faite en 1984, selon laquelle le BIONESS sous-échantillonnait sérieusement la population, et cela par un facteur aussi grand que 100. On soupçonnait depuis longtemps que les euphausiacés évitaient le filet, mais pas à un tel point. Afin de poursuivre les recherches sur cet évitement, on a monté sur le BIONESS, pour la saison d'échantillonnage d'octobre 1989, une source lumineuse contrôlée. L'hypothèse formulée était que les euphausiacés, puisqu'ils nagent lentement vers les lumières vives, seraient ainsi obligés de se réorienter suivant la direction de leur mouvement. Cela "gèlerait" les animaux en place en surmontant leur réaction naturelle d'évitement. L'hypothèse d'une réorientation est compatible avec l'expérience de 1983 utilisant la lumière et le comportement de "gel" correspond aux observations des euphausiacés faites dans le bassin Emerald en juin 1989 au moyen d'un ROV Hysub 5000. Un prélèvement au BIONESS relativement amélioré, avec source lumineuse sur l'échantillonneur, allait vérifier l'évitement du filet par ces organismes. La vitesse de trait de 3 noeuds du BIONESS et le fait qu'il était tiré en oblique devaient éviter qu'une concentration importante d'euphausiacés ne se produise dans le filet du simple fait de l'attraction de la lumière. L'expérience au BIONESS avec utilisation de la lumière a été réalisée en octobre 1989, et le volume de prise, lumières allumées, a été presque dix fois supérieur. Ces nouvelles observations faites grâce à l'hydroacoustique obligent les scientifiques à repenser le rôle des euphausiacés dans la chaîne alimentaire des bassins de la plate-forme néo-écossaise.

On disposera bientôt d'instruments acoustiques améliorés. En 1990, le ministère des Pêches et des Océans fera l'acquisition d'un module sonar fonctionnant sur 8 fréquences discrètes entre 50 kHz et 1 MHz. Ce sonar, développé par Seastar Instruments Ltd. avec un important concours de la Division de la Métrologie, pourra être remorqué en profondeur jusqu'à 300 m. Il devrait permettre la détection de couches de copépodes et le comptage à courte distance d'échos discrets d'euphausiacés. Ce sonar et ses prolongements futurs devraient constituer la base d'un système opérationnel de levés acoustiques qui permettra de produire couramment des cartes de biomasses variables de zooplancton, ce qui aidera à mieux comprendre les fluctuations des stocks de poissons, tributaires de cette biomasse comme source alimentaire.

Références bibliographiques

COCHRANE, N.A., et D.D. SAMEOTO. 1987. Multichannel false color echograms as a biological interpretive tool. In: H.M. Merklinger (éd.). Progress in Underwater Acoustics. Plenum Press, New York : 129-135.

COCHRANE, N.A., D. SAMEOTO, A.W. HERMAN et J. NEILSON. (Sous presse). Multiple-frequency acoustic backscattering and zooplankton aggregations in the inner Scotian Shelf Basins. Journal canadien des sciences helieutiques et aquatiques.

SAMEOTO, D.D. 1976. Distribution of sound scattering layers caused by euphausiids and their relationship to chlorophyll *a* concentrations in the Gulf of St. Lawrence estuary. J. Fish. Res. Board Can. 33:681-687.

SAMEOTO, D.D. 1980. Quantitative measurements of euphausiids using a 120-kHz sounder and their *in situ* orientation. Journal canadien des sciences helieutiques et aquatiques 37:693-702.

SAMEOTO, D.D. 1982. Zooplankton and micronekton abundance in acoustic scattering layers on the Nova Scotian Slope. Journal canadien des sciences helieutiques et aquatiques 39:760-777.

SAMEOTO, D.D., N.A. COCHRANE et A.W. HERMAN. 1985. Response of biological acoustic backscattering to ship's lights. Journal canadien des sciences helieutiques et aquatiques 42:1535-1543.

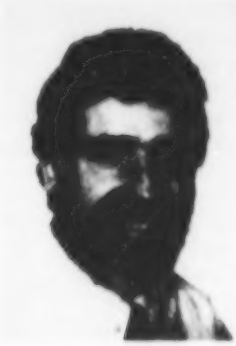
STANTON, T.K. 1987. Sound scattering by zooplankton. Presenté à: Int. Symp. on Fisheries Acoustics, 22-26 juin, Seattle, WA.

STANTON, T.K. 1988. Sound scattering by cylinders of finite length. I. Fluid cylinders. J. Acoust. Soc. Am. 83(1):55-63.

Les systemes de sondage multifaisceaux : nouvel outil cartographique pour le service hydrographique de canada

B. Burke et P. Hally

B. Burke



P. Hally

Le mandat du Service hydrographique du Canada (SHC) est en premier lieu la cartographie des eaux navigables du Canada et la fourniture d'informations s'y rapportant, telles que les Tables des marées et les Instructions nautiques. La plate-forme continentale du Canada est l'une des plus vastes et potentiellement des plus riches du monde. La réalisation de levés bathymétriques permettant d'en assurer la couverture détaillée est importante, si le Canada veut valoriser judicieusement cette ressource précieuse pour les besoins nationaux.

Le Canada est signataire de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer de 1983. En vertu des articles de la Convention, il pourrait avoir juridiction sur une superficie de fonds marins de plus de 6,8 millions de kilomètres carrés, ce qui représente quelque 60% de son territoire émergé (fig. 1). Si l'on exclut les îles de la bande littorale ainsi que l'Archipel arctique, la baie d'Hudson et le golfe du Saint-Laurent, la zone océanique restante dépasse les 4,5 millions de kilomètres carrés. On estime qu'il en coûterait plus de 240 millions de dollars (canadiens) pour réaliser des levés de la totalité des fonds marins de cette zone, et que cela demanderait plus de 42 années-navire, à raison de 250 jours par an (MacNab, 1989).

Le ministère des Pêches et des Océans, dont fait partie le SHC, a annoncé en 1987 une nouvelle politique des océans, dont un des éléments-clés est la nouvelle impulsion donnée à la cartographie, visant à fournir des renseignements hydrographiques et géoscientifiques détaillés sur la marge continentale du Canada.

Plusieurs iniatives ont été prises pour établir au sein du SHC et du secteur industriel canadien des moyens viables de cartographie des fonds marins. L'acquisition d'un système de sondage multifaisceaux Simrad EM-100 et sa mise en place à bord du *Louis M. Lauzier* est un premier pas vers la réalisation de cet objectif. Un second système EM-100 a été installé à bord du bateau SWATH (faible surface à la flottaison, deux coques jumelles) *Frederick G. Creed*. Un important programme est en cours pour doter d'un système de sondage multifaisceaux le véhicule robot de levé DOLPHIN (Deep Ocean Logging Platform with Hydrographic Instrumentation and Navigation). L'Université du Nouveau-Brunswick (UNB) a entrepris un nouveau programme de recherche en cartographie des fonds marins. Le Conseil national de recherches lui a attribué une subvention de recherche stratégique pour des études dans le domaine des outils d'interprétation intégrés de grands ensembles de données bathymétriques. Le SHC coopère avec l'Université pour ce programme et lui a confié un contrat pour la réalisation d'études portant sur la manipulation de ces ensembles de données.

Systèmes de sondage multifaisceaux – principes fondamentaux

Lorsqu'il s'agit de procéder à des levés bathymétriques systématiques, les arpenteurs de la mer (hydrographes) sont grandement désavantagés par rapport à leurs collègues qui travaillent à terre. Normalement, les arpenteurs sont en mesure de voir ce qu'ils mesurent et ils ont l'avantage de pouvoir installer leurs instruments en des points de contrôle fixes, avec ce luxe supplémentaire (tout étant relatif) d'avoir

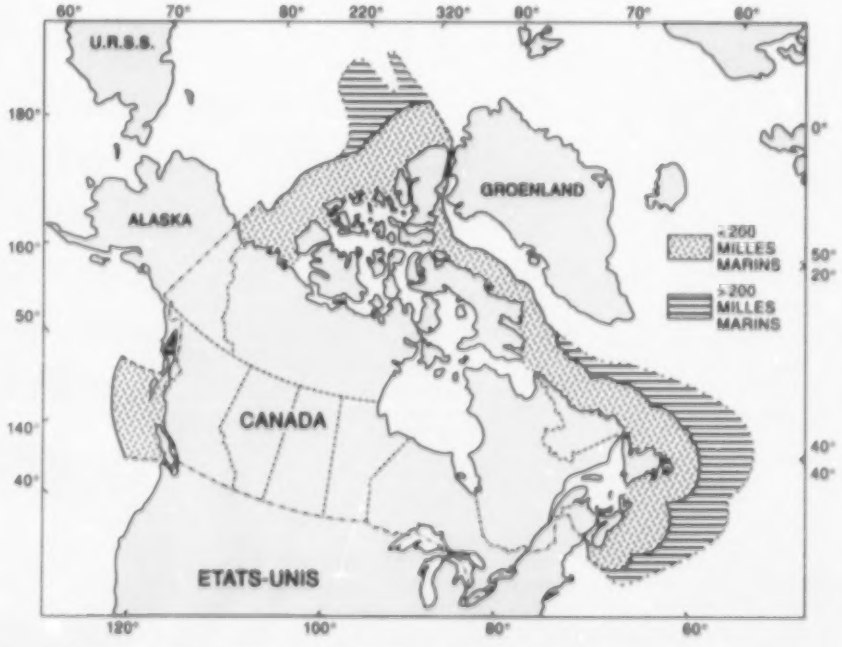


Fig. 1 Plate-forme continentale du Canada définie par le droit de la mer.

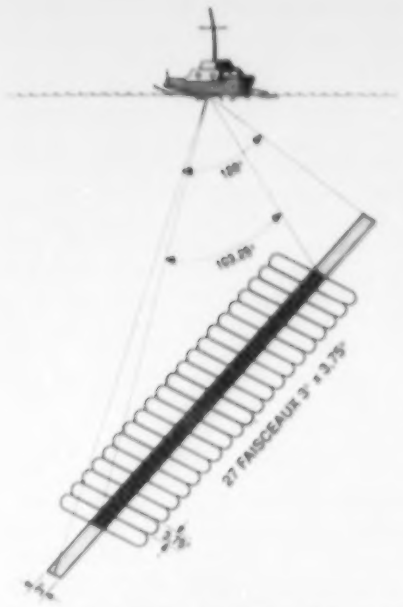


Fig. 2 Configuration en éventail pour un système d'échosondage multifaisceaux.

le temps de répéter les mesures autant de fois que cela peut être nécessaire pour assurer la qualité et la précision des levés. Les hydrographes, par contre, effectuent normalement leurs mesures à partir d'un navire en mouvement qui est à la merci des conditions météorologiques et de l'état de la mer, et qui évolue à des distances pouvant aller de quelques mètres à des milliers de kilomètres de la terre la plus proche.

Pour réaliser un levé bathymétrique, il faut mesurer à la fois la profondeur de l'eau et la position. L'outil le plus courant de mesure de la profondeur est l'échosondeur. Il s'agit essentiellement d'un appareil qui détermine la profondeur de l'eau le long d'une bande étroite, en mesurant avec précision le temps que met un signal acoustique pour parvenir au fond et revenir. Les mesures effectuées au moyen d'un échosondeur classique ne couvrent normalement qu'une petite partie du fond.

Afin de surmonter cette contrainte et de réaliser une couverture plus large, avec une précision accrue, on a développé un nouvel outil de levé bathymétrique, le système d'échosondage multifaisceaux (fig. 2). Le principe de base est le même, consistant à déterminer la profondeur de l'eau en mesurant le temps de trajet d'un signal acoustique, mais le matériel et les techniques sont bien plus évolués que dans un échosondeur classique à faisceau unique.

Dans le Simrad EM100, deux techniques sont employées pour assurer la précision, la couverture et la discrimination des détails du fond. La première est la technique des faisceaux en éventail croisés. Il est possible de faire de la formation et de l'orientation de faisceaux au moyen d'un transducteur constitué d'un certain nombre d'éléments distincts, avec les commandes et les moyens électroniques appropriés. Normalement, ces systèmes émettent un faisceau très large dans l'axe transversal du navire et un faisceau très étroit dans l'axe longitudinal (120° x 3° dans le cas de l'EM100 en mode de sondage ultra-large).

Au cycle de réception, on peut former plusieurs faisceaux très étroits (à des angles prédéterminés avec un plan de référence vertical) en appliquant les temps de propagation de phase appropriés et en additionnant les signaux provenant de chacun des éléments dont est constitué le transducteur. Le résultat final est la possibilité de mesurer une large bande du fond marin, en obtenant bien plus de détails sur la géomorphologie qu'au moyen des échosondeurs classiques.

Une des contraintes de la technique des faisceaux en éventail croisés est qu'il devient de plus en plus difficile de déterminer avec précision la distance oblique sur les bords externes du faisceau. Il est plus difficile d'effectuer les mesures de distance oblique lorsque les angles d'incidence sur la surface du fond sont élevés, du fait de la déformation du signal acoustique (étalement des impulsions) et parce que, normalement, il y a moins d'énergie acoustique retournée au transducteur lorsque l'angle d'incidence est plus grand.

Une seconde technique qui améliore la précision de mesure de la distance oblique aux angles d'incidence élevés est l'interférométrie de phase. Si l'on émet un signal acoustique à partir du transducteur T1, et que l'on utilise T1 et T2 pour la réception du signal, on peut mesurer la distance à la cible réfléchissante sur la base du temps de trajet du signal acoustique et mesurer l'angle ϕ sur la base de la différence de phase du signal réfléchi reçu en T1 et en T2. La figure 3 montre la différence de phase à l'arrivée d'un signal acoustique en provenance de deux réflecteurs, R1 et R2. L'idée est simple, mais elle est difficile à mettre en pratique. Par exemple, le choix d'une fréquence optimale pour répondre aux exigences de distance, de précision et de résolution implique normalement un compromis. Il faut aussi, pour réaliser des mesures acoustiques précises, connaître l'emplacement du transducteur, son orientation ainsi que les variations des

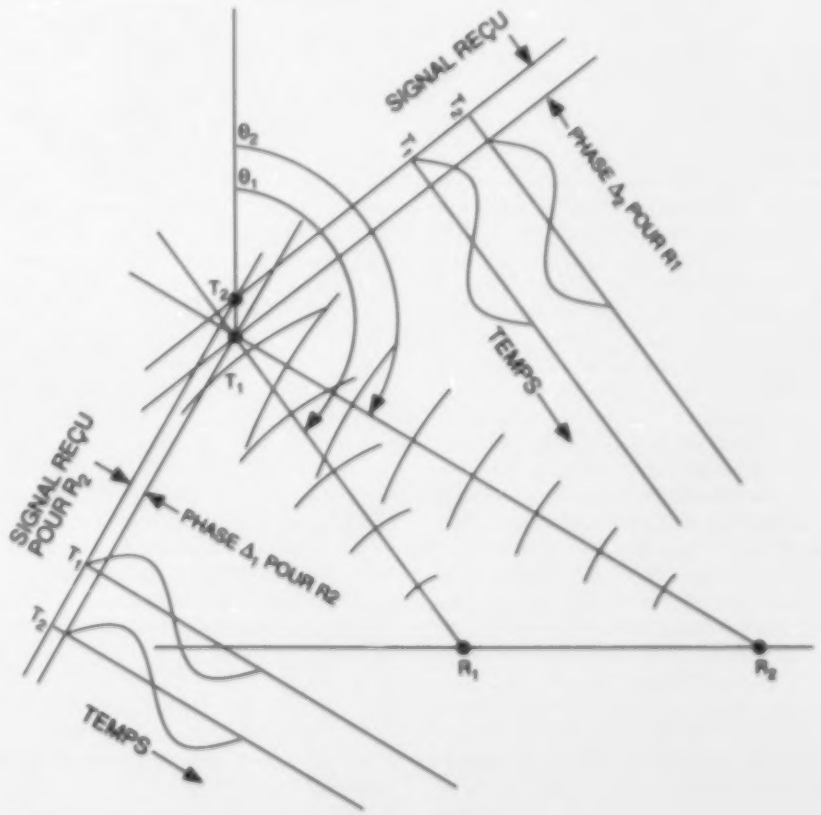


Fig. 3 Diagramme conceptuel de l'interférométrie.

caractéristiques acoustiques du milieu (qui sont normalement difficiles à mesurer dans un cadre opérationnel). On trouvera une explication plus complète des principes de formation de faisceau et d'interférométrie dans les ouvrages de référence (de Moustier, 1988; Cloet *et al.*, 1987).

Le système Simrad EM100 emploie ces deux techniques dans ses estimations de distance. Des microprocesseurs en tranches à grande vitesse comparent pour chaque faisceau les valeurs de l'amplitude de la phase et de l'enveloppe, pour obtenir une mesure optimale de la distance oblique. Par cette technique, il est possible d'étendre la couverture de 1,6 fois à 2,4 fois la profondeur de l'eau sans perte importante de précision. La compagnie Simrad poursuit des travaux de développement fondés sur la technique de l'interférométrie, pour porter la couverture du système EM100 à huit fois la profondeur de l'eau dans des zones où la profondeur ne dépasse pas 50 m.

Aperçu général du Simrad EM100

Le système de sondage multifaisceaux Simrad EM100 qui fonctionne sur une fréquence de 95 kHz, peut atteindre une profondeur de 500 m; son opérateur peut commander la configuration en direct pour lui donner une couverture multifaisceaux de 0,7 fois (étroite), 1,6 fois (large) ou 2,4 fois (ultra-large) la profondeur de l'eau. La taille des faisceaux et leur nombre dépendent de la configuration. En mode étroit, le système utilise 32 faisceaux de 3° x 2°, tandis qu'il utilise 27 faisceaux de 3° x 3,75° dans le mode le plus large. Le transducteur est stabilisé mécaniquement en tangage et une correction électronique de roulis est appliquée. La quantité de données recueillies dépend de la profondeur; elle varie entre 1 et 4 mégaoctets par heure. En eau peu profonde, le cycle est plus rapide et le système peut donc recueillir plus de données. Toutes les données sont enregistrées sur une cartouche à disque laser amovible de 400 mégaoctets, pouvant stocker en mémoire les données de 100 à 400 heures de levés. La figure 4 montre le menu affiché sur l'écran de l'opérateur.

Pour parvenir à un haut niveau de précision dans les mesures de profondeur, il faut corriger les mesures de distance oblique pour tenir compte du mouvement du navire qui effectue les levés. Un capteur de houle, de roulis et de tangage est intégré au système EM100 pour la compensation du mouvement. Les signaux du capteur de mouvement sont communiqués au Simrad EM100, où les mesures de distance oblique sont corrigées à mesure qu'elles sont exécutées. Si la vitesse de propagation du son dans la colonne d'eau n'est pas constante, le front de l'onde acoustique ne se déplacera pas en ligne droite; c'est le phénomène de flexion des rayons. Un compteur de vitesse permet de mesurer la vitesse de propagation dans la colonne d'eau. Cette information est introduite dans le système EM100, où est appliquée aussi une correction de la flexion des rayons.

Le progiciel de traitement de données livré avec le Simrad EM 100 est composé de deux modules. L'un transfère les données du disque laser à l'ordinateur de traitement MicroVAX II, reformatte les fichiers de données brutes et effectue un prétraitement des données de navigation et de profondeur. Le second comprend le logiciel qui sert à créer des modèles numériques du relief, à tracer des courbes bathymétriques et à porter les données sur les cartes. Les données sont transférées en différé du disque laser à un fichier résidant MicroVAX II. Des fichiers distincts sont créés pour la profondeur, la position, la puissance du signal et les paramètres de l'échosondeur. Les données de position peuvent être éditées et filtrées avant la création d'un fichier XYZ de toutes les profondeurs brutes avec corrections de marées. Les données XYZ sont extrapolées sur une grille que l'usager définit et superpose à la zone de levés. Il existe plusieurs options, au choix de l'usager, pour contrôler les critères d'extrapolation et de sélection.

Une fois calculées les valeurs de la grille, on peut comparer toutes les valeurs de profondeur XYZ brutes avec la surface de la grille et éliminer les "pointes". L'ensemble de données éditées XYZ ainsi obtenu pourra servir à générer un nouvel ensemble de valeurs de la grille, pour la création d'un modèle numérique du relief qui servira ensuite à générer divers produits. Ces produits sont notamment des cartes en courbes bathymétriques avec sélection par l'usager, des intervalles entre les courbes et l'échelle, des vues en perspective, des profils entre deux endroits quelconques de la zone de levés et une carte différentielle (les deux ensembles de données doivent être dans le même format de grille). Un ordinogramme simplifié du traitement des données est représenté sur la figure 5. On trouvera une description plus détaillée du progiciel de traitement dans les ouvrages de référence (Midthasel *et al.*, 1988, Pøhner, 1988).

Expérience opérationnelle

Le *Louis M. Lauzier* a été doté d'un système Simrad EM199 au début de 1989. La mise en place du transducteur rétractable a demandé des modifications structurales importantes; il a fallu notamment fabriquer et installer le logement et le carénage du transducteur. Ce navire a été affecté à des projets dans le golfe du Saint-Laurent et le long des côtes de Terre-Neuve pendant la saison de levés 1989. Deux mois ont été consacrés à des levés dans la région de la Basse-Côte-Nord du Saint-Laurent, près de Havre-Saint-Pierre, et

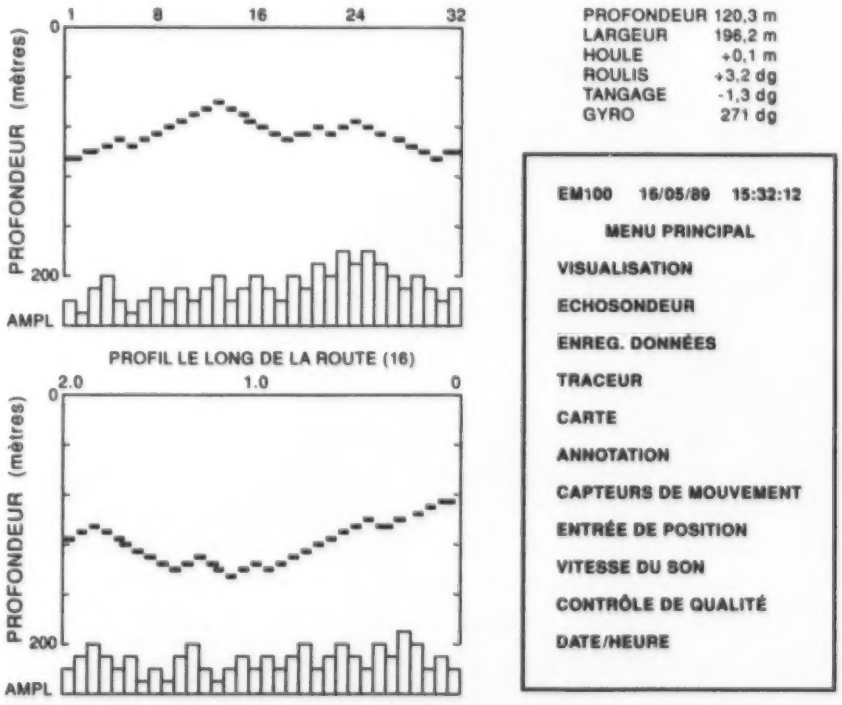


Fig. 4 Visualisation de la console de l'opérateur.

deux mois à des levés dans la baie Bonavista à Terre-Neuve, dans la région de Clode Sound. On a utilisé parallèlement au système multifaisceaux un échosondeur classique Elac LAZ 4700, pour réaliser une vérification indépendante du fonctionnement du système.

Le système a bien fonctionné pendant la première saison d'utilisation. Le capteur Hippy Data Well a posé certains problèmes et l'arbre du transducteur a été endommagé en heurtant un obstacle inconnu. Au début et à l'achèvement de chaque levé, des vérifications d'étalonnage ont été effectuées. Pour ces contrôles, dits "patch tests", on exécute une série de profils en sens opposés et à angles droits entre eux. En analysant soigneusement les résultats, on peut éliminer les erreurs systématiques de tangage, de roulis et d'azimut. On a vite constaté qu'il était possible d'optimiser dans une mesure importante la productivité d'un levé en exécutant les profils parallèlement à la direction générale des courbes bathymétriques et en réglant le mode de levé (étroit, large ou ultra-large). On a exécuté les profils en mode étroit ou large dans l'eau profonde et en mode ultra-large dans l'eau peu profonde, de manière à maintenir la couverture aussi constante que possible.

Les figures 6 et 7 présentent les résultats de certaines des données recueillies. La figure 6 a été générée à partir des données recueillies par le système installé sur le *Frederick F. Creed*. Elle montre une seule bande exécutée dans une zone de 500 m x 1250 m, où la profondeur de l'eau variait entre 42 m et 324 m. La figure 8 montre le résultat d'un levé exécuté au-dessus de l'épave de l'*Empress of Ireland*. Dans les deux cas, les données contiennent plus de détails que ne le montrent les figures. Afin de rendre le diagramme plus lisible, on a employé pour la représentation 3-D une grille plus grande que celle utilisée pour le traitement des données.

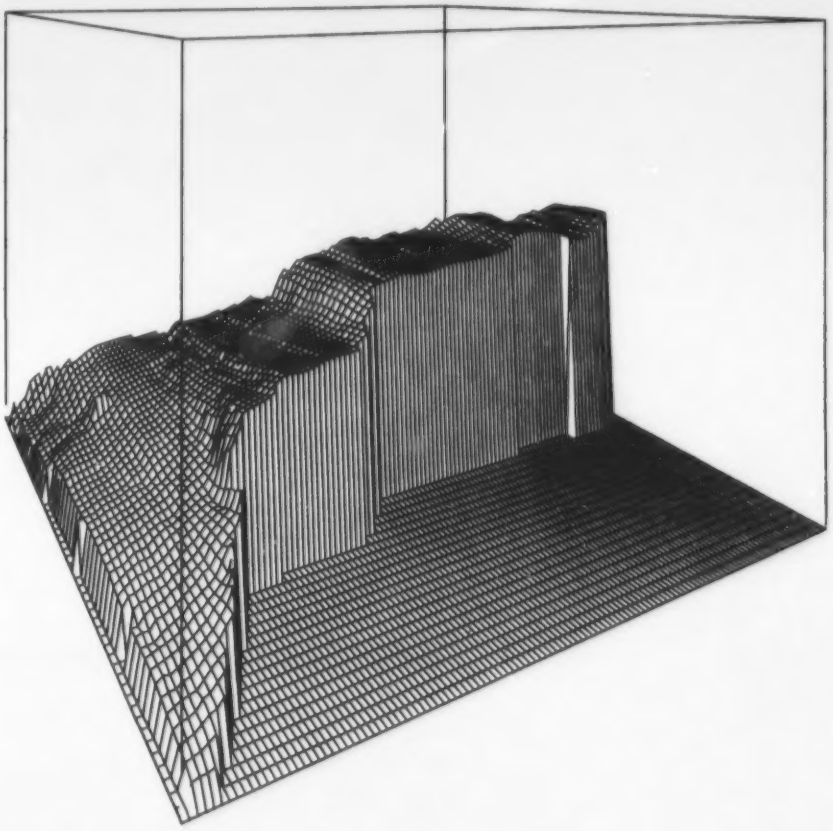


Fig. 6 Vue 3-D des données recueillies lors d'un seul passage de l'EM100.

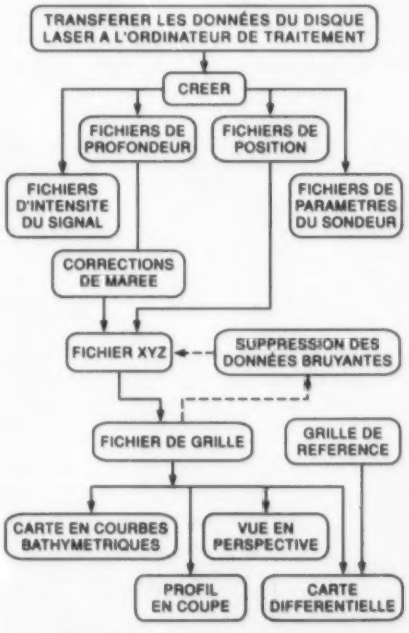


Fig. 5 Ordinogramme simplifié du traitement des données.

Le traitement s'est révélé être le principal goulet d'étranglement du système. Le temps nécessaire dépend de plusieurs facteurs qui sont au choix de l'usager, dont le plus important est la taille des mailles de la grille. Si l'on choisit une maille petite (1 à 5 m par exemple), on conserve la majorité ou la totalité des détails géomorphologiques que contiennent les données brutes, mais le temps de traitement pourra être 5 à 15 fois supérieur au temps qu'a demandé la collecte des données. Si l'on choisit une maille plus grande (10 à 50 m), le temps de traitement sera sensiblement réduit mais un degré inacceptable de lissage risque de masquer des zones de faible profondeur, d'une importance critique dans les applications hydrographiques. Le Service hydrographique du Canada devra utiliser provisoirement le logiciel existant car il n'existe pas d'autre solution appropriée pour le moment. Il est prévu que le Groupe de cartographie des fonds marins de l'UNB développera bientôt des algorithmes mieux adaptés.

Conclusions

Avec l'acquisition et la mise en opération des systèmes de sondage multifaisceaux Simrad EM100, le Service hydrographique du Canada est entré dans une nouvelle ère de cartographie des fonds marins. Les travaux de mise au point de meilleurs outils pour le traitement, l'archivage et la diffusion des données vont se poursuivre. De plus, le ministère des Pêches et des Océans va encourager le développement dans le secteur privé, l'objectif étant d'établir une industrie viable, apte à faire concurrence avec succès sur le marché mondial. La prochaine phase qui s'impose est l'acquisition de systèmes capables de mesurer les profondeurs rencontrées dans les parties les plus profondes de notre marge continentale.

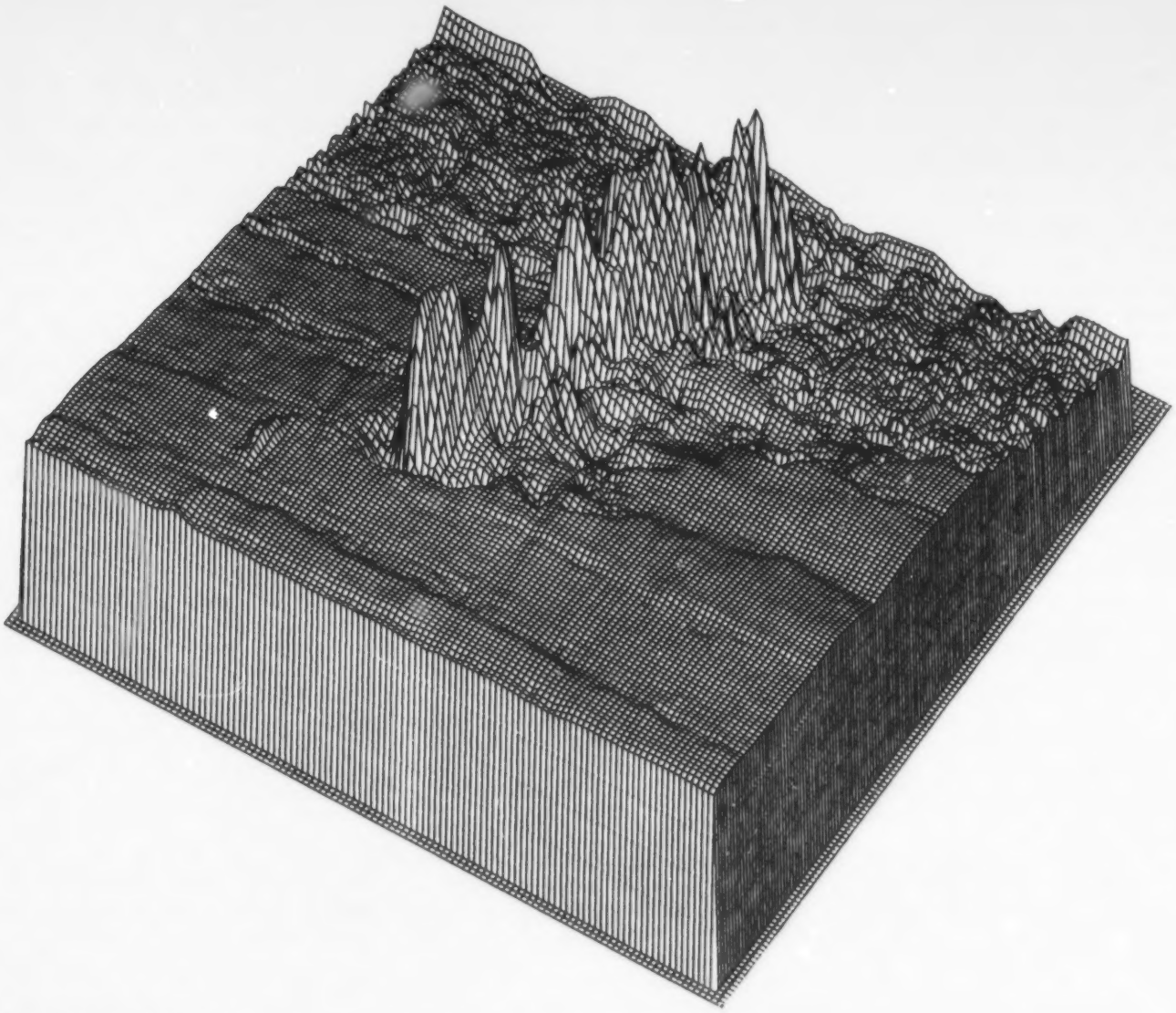


Fig. 7 L'Empress of Ireland.

Références bibliographiques

MACNAB, R. *et al.* 1989. Ocean mapping in the 1990s : Planning document for a national program. Projet de document interne, Groupe de travail MPO-EMR sur les levés offshore, 15 mars.

DE MOUSTIER, C. 1988. State of the art in swath bathymetry survey systems, Int. Hydrographic Review, Monaco, LXV(2), juillet: 26-54.

CLOET, R.L. *et al.* 1988. Data management of swath sounding systems, Int. Hydrographic Review, Monaco, LXV(2), mai:5-15.

MIDTHASSEL, A. *et al.* 1988. Data management of swath sounding systems, Int. Hydrographic Review, Monaco, LXV(2), juillet: 91-115.

PØHNER, F. 1988. Processing multibeam echo-sounder data. Proc. 3rd National Ocean Service Int. Hydrographic Conference, Baltimore, MD, avril: 91-101.

Gestion des bases de données dans un institut de recherche océanographique

D. I. Ross

D. I. Ross

L'activité d'un institut de recherche océanographique moderne est axée sur la collecte, le traitement et l'analyse, et enfin la diffusion d'informations scientifiques. Cette recherche étant largement interdisciplinaire, il faut aussi superposer de multiples ensembles de données pour l'analyse spatiale et l'évaluation des paramètres en interaction. La manipulation efficace de ces ensembles de données, en vue d'en tirer des produits utiles pour la valorisation des ressources, exige l'établissement d'une infrastructure d'information bien développée.

Jadis, la littérature scientifique et les cartes imprimées constituaient l'essentiel de cette infrastructure. Elles sont encore une source importante d'idées nouvelles, mais le volume de données et la complexité de notre science ont augmenté à tel point que l'ordinateur, avec ses fichiers, est devenu un outil standard de recherche scientifique. De nos jours, on trouverait fort peu de chercheurs qui ne soient pas, pour le moins, des utilisateurs indirects d'un terminal, tandis que beaucoup sont maintenant aussi à l'aise au clavier de l'ordinateur qu'ils l'étaient il y a dix ans avec un papier et un crayon.

La nouvelle technologie numérique et la télédétection ont rapidement multiplié les éléments d'information dont l'océanographe dispose pour ses travaux, qu'il s'intéresse à la température de la surface de la mer, aux courants océaniques, à la profondeur de l'eau ou à la géologie des fonds marins et du soubassement. L'énorme accroissement de la puissance de calcul utilisable a élargi, pour les scientifiques, les possibilités d'analyser la teneur en information d'un ensemble de données, ce qui les amène à exiger une plus grande précision dans les données d'origine et l'accès à des bases de données de plus en plus vastes.

L'avènement des bases de données relationnelles a fourni de nouveaux moyens de concevoir et d'intégrer des systèmes d'information. Les trois articles qui suivent traitent des voies dans lesquelles s'engagent les scientifiques dans trois disciplines différentes des sciences océanographiques : sciences physiques et chimiques, hydrographie et géosciences. Dans chaque cas, le problème qui se pose est la nécessité de traiter et d'analyser des volumes grandissants de données d'une diversité croissante, devant servir à des usages variés, et de mettre cette information à la disposition d'autres utilisateurs. Lorsque le volume de données augmente, la mise en mémoire et l'extraction peuvent devenir malaisées et très peu efficaces, à moins que l'on ne dispose de moyens appropriés de segmenter les données. Les voies dans lesquelles s'engage l'Institut assureront un accès efficace aux données aux fins de la recherche et des échanges scientifiques, ce qui est un grand pas dans le sens d'une meilleure compréhension de nos océans et de leur environnement.

Vue aérienne de l'Institut océanographique de Bedford.

Stratégie pour la conception d'un système de données océaniques

D. Gregory et G. Boudreau

D. Gregory

G. Boudreau

Cette dernière décennie a vu s'accroître la demande d'informations sur des questions environnementales telles que le changement climatique, les facteurs physiques qui influent sur l'abondance des stocks de poissons et les questions qui intéressent l'exploration pétrolière offshore (ondes de tempête, vagues, glace de mer et icebergs, modèles de prédiction de déversements pétroliers). Ce besoin de comprendre un environnement océanique complexe a suscité des progrès dans la technologie de mesure, non seulement en améliorant nos instruments classiques, embarqués ou mouillés, mais aussi en engendrant une nouvelle génération de capteurs satellitaires qui redéfinissent notre vision de l'environnement marin. Les modèles numériques, qui étaient jadis essentiellement un outil théorique, deviennent de plus en plus raffinés, au point d'être eux-mêmes considérés comme d'utiles sources de données. Sous-tendant cette capacité technologique de recueillir l'information sur nos océans, il y a la question également difficile de savoir comment gérer cette information de telle manière que la communauté scientifique puisse l'utiliser efficacement.

Heureusement, d'immenses progrès ont été réalisés au cours de la même période dans la technologie du matériel informatique et des logiciels, permettant de traduire ces volumes de données en informations significatives. Une puissance de calcul qui n'était offerte précédemment que sur de gros ordinateurs centraux l'est maintenant sur les ordinateurs personnels, pour une fraction du coût. Des innovations fondées sur les logiciels telles que les bases de données relationnelles, les langages de quatrième génération, les systèmes d'information géographique (SIG) et leurs successeurs, les systèmes d'information spatiale (SIS), sont des technologies-clés qui permettent d'employer utilement en océanographie le matériel informatique moderne. Fait également significatif, des normes en évolution permettent une simplification des échanges de données et de logiciels entre systèmes informatiques différents, ce qui met les scientifiques en mesure de travailler sur des plates-formes informatiques variées.

Objectifs

Les progrès technologiques enthousiasment autant les utilisateurs que les gestionnaires, et l'acquisition de la technologie est souvent considérée comme essentielle et indispensable pour soutenir le rythme du changement. Cet enthousiasme peut avoir une conséquence négative qui est un développement entraîné par la technologie, percevant des solutions fondées sur le matériel ou le logiciel, sans qu'il existe un plan général pour intégrer les éléments en un système qui répondra aux besoins de l'utilisateur ou, ce qui est pire, agissant sur les objectifs scientifiques pour chercher à atteindre la solution pressentie. Il faut que les objectifs soient déterminés par les besoins d'information et par la compréhension que l'on espère obtenir. Du fait de la nature de la recherche scientifique, un système d'information exige un cadre qui puisse répondre à une évolution continuelle de ses besoins, sans lui-même devenir obsolète. Au cours des dix à quinze ans de la durée de vie d'un système, on peut s'attendre à des progrès et à des innovations importants, tant dans la technologie de mesure que dans les techniques d'analyse. Bien que l'on ne puisse que spéculer sur la nature exacte de ces changements au stade de la conception d'un système, il faudra néanmoins que le système s'en accommode lorsqu'ils se produiront. Le bon sens dicterait donc de prendre en compte les diverses fonctions du système (traitement, stockage, intégrité et sécurité des données, analyse scientifique et appui à la décision), de manière à tirer parti des applications de logiciels commerciaux et des applications particulières développées par d'autres organismes partageant les mêmes objectifs.

La figure 1 montre les relations entre ces fonctions. L'exemple pourrait représenter le flux d'information depuis l'acquisition des

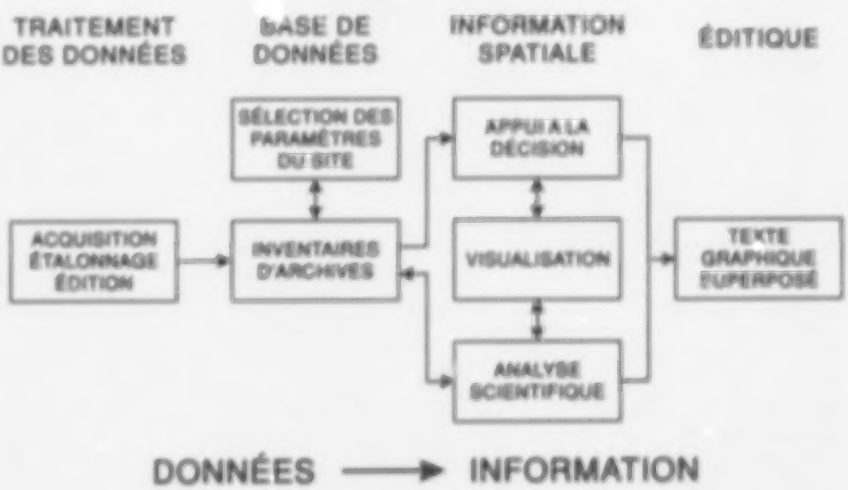


Fig. 1 Fonctions d'un système de données océaniques.

données jusqu'à la production d'un atlas, à une publication scientifique ou à une interrogation particulière. La succession des opérations de transformation des données en "informations" fait intervenir de nombreux sous-systèmes (bases de données, SIG, publication, etc.) qui ne sont pas des activités isolées, mais des moyens d'atteindre les objectifs scientifiques visés.

Développement à l'Institut

A l'Institut océanographique de Bedford, la Direction des sciences physiques et chimiques développe maintenant un Système d'information océanique pour les données physiques et chimiques. Un objectif capital de ce système est d'offrir un moyen d'acquérir et d'assembler facilement des données provenant de diverses sources et de les transformer dans des délais raisonnables en informations significatives. Le système est caractérisé par deux grands volets : une composante de traitement et d'analyse et un modèle informatique. La composante de traitement et d'analyse emploie des modules génériques qui peuvent être assemblés selon diverses permutations pour "téléphoner" les données entre modules, créant par là l'algorithme de traitement ou d'analyse souhaité. De nouvelles fonctions peuvent être ajoutées et les fonctions obsolètes peuvent être supprimées ou révisées sans que l'ensemble du système soit affecté. Le logiciel du système reste relativement modeste, car les structures et les algorithmes de traitement communs sont réutilisables dans divers contextes. Le modèle informatique peut représenter tous les types d'information en créant des objets informatiques complexes à partir d'agrégats de quelques objets informatiques élémentaires connus du modèle. Les données que gère le système peuvent être des observations in situ classiques, de l'imagerie de télédétection ou des résultats calculés à partir de modèles numériques. On peut définir préalablement ou normaliser les structures pour les besoins de l'archivage, tout en laissant une complète souplesse dans la définition de nouvelles structures pour des applications axées sur le développement. Ces deux composantes - modèle informatique et capacité d'analyse - permettent d'interpréter des données d'une grande variété de sources, de calculer de nouveaux paramètres et de créer une collection de produits informatiques numériques et graphiques. On peut intégrer les fonctions accomplies par les progiciels commerciaux ou les applications individualisées développées par d'autres groupes, en réorganisant le logiciel de manière qu'il apparaisse comme un module du système. Une autre possibilité est de construire un mécanisme d'échange de données à partir d'éléments existants pour relier entre eux les différents systèmes.

Conclusion

Toutes les activités, notamment la préparation et la mémorisation des données, l'analyse scientifique et l'appui à la décision, seront prises en compte et intégrées dans le nouveau Système d'information océanique. Une soigneuse planification des systèmes facilite ce processus complexe, en limitant les tâches fastidieuses ainsi que les dépenses afférentes à la collecte d'un éventail de données diverses, comportant des exigences de traitement variées. Ces possibilités du système informatique nous permettront de soutenir le rythme des innovations technologiques qui se produisent dans les sciences de la mer.

Nouvelle approche de la gestion d'une base de données spatio-temporelles

H. A. Boudreau, H. P. Varma, et W. Prime

H. A. Boudreau, W. Prime, et H. P. Varma

Ces dernières années, afin de répondre aux besoins de gestion, de manipulation et de diffusion de volumes d'information toujours croissants, le Service hydrographique du Canada (SHC) a entrepris de mettre sur pied un Système intégré de gestion de l'information. On savait qu'une étape nécessaire pour atteindre cet objectif serait le développement et la maintenance de plusieurs bases de données.

La situation au SHC, nullement unique, était caractérisée par l'existence de multiples types de données (numériques, graphiques, représentation de points, description de surfaces, nomenclatures, etc.) et d'usages fort divers. Comme pour la plupart des données scientifiques, les références spatio-temporelles constituaient le fil conducteur. On classa les données en "données ponctuelles" (éléments se rapportant à un seul lieu géographique discret) et "données linéaires" (se rapportant à des zones ou à des limites), ce qui allait permettre de concevoir des solutions généralisées, applicables à de nombreux problèmes spatio-temporels.

La stratégie adoptée pour la conception et la mise en œuvre a été de charger des équipes régionales de concevoir des solutions à des "sous-problèmes", dans le contexte général. Le plus grand obstacle à surmonter était le manque de modèles ou de mécanismes définis pour traiter de la nature spatiale des données dans l'environnement d'une base de données relationnelle. Un groupe de travail du SHC s'est occupé de la question des données ponctuelles. Les objectifs étaient de concevoir un mode d'implantation :

- capable de traiter les données existantes et applicable aussi à de très grands ensembles, c'est-à-dire des ensembles contenant déjà plusieurs dizaines de millions d'éléments, et qui en contiendraient plusieurs ordres de grandeur de plus, dans un avenir prévisible;
- conforme au modèle conceptuel, pour ce qui est d'autoriser une méthodologie vraiment numérique à toutes les phases, depuis l'acquisition jusqu'à la diffusion;

- applicable mondialement, tout en admettant un certain degré d'individualisation.

Les recherches initiales et la réalisation des prototypes ont été centrées sur la bathymétrie (sondages) qui constituait l'ensemble de données le plus volumineux et le plus dense; les solutions apportées aux problèmes de manipulation des données bathymétriques pourraient être appliquées ensuite à d'autres ensembles, moins denses.

Cloisonnement des bases de données à l'aide du code hyperspatial hydrographique

Afin de résoudre les problèmes posés par la masse énorme d'entrées, leur densité et leur localisation géographique imprévisible, il fallait mettre au point une méthode qui permettrait de subdiviser les données, logiquement et physiquement, en ensembles qu'il soit possible de distinguer. Le modèle initial de partitionnement (bidimensionnel) était une subdivision binaire : chaque fois qu'une zone était subdivisée, chaque dimension était divisée par deux, ce qui créait quatre nouvelles zones.

L'implémentation programmable de ce modèle a conduit au code hydrographique hyperspatial (code HH), conçu comme une chaîne de caractères identifiant de façon unique les limites spatiales des partitions, tout en les définissant dans le temps. Toute sous-partition était, par définition, un quart d'une cellule parente; un code d'identité utilisant les caractères 0, 1, 2 et 3 lui était attribué. La structure a été initialisée à partir de quatre quadrants représentant la surface de la terre, définis par des degrés de latitude et de longitude (fig. 1).

En subdivisant, on génère de nouveaux codes HH à partir du code existant. Un caractère est ajouté au nouveau code, dont la valeur est fonction du quadrant dans lequel se trouve la nouvelle cellule (fig. 2).

Les données elles-mêmes sont le moteur du système de cloisonnement. On tient le compte du nombre d'éléments que contient chaque cellule, nombre que l'on ne laisse pas

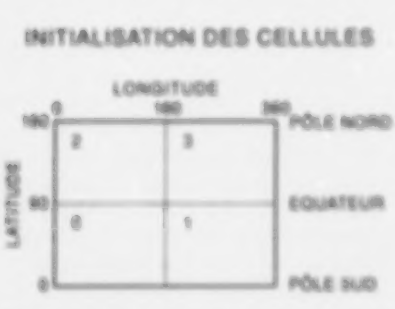


Fig. 1 Restructuration d'un système de coordonnées géographiques en un système de coordonnées continu.

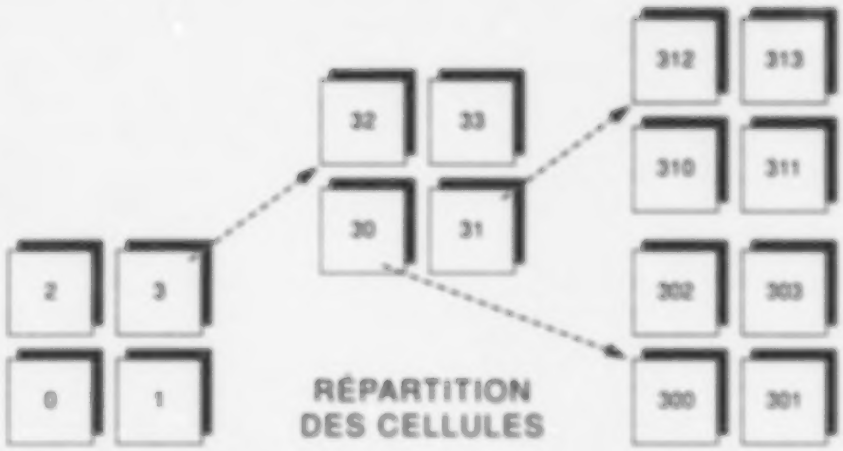


Fig. 2 Une interprétation logique de l'espace objet par mémorisation de nombres sur une chaîne.

dépasser un maximum prédéterminé. Une cellule est subdivisée quand, et seulement quand, elle devient saturée. Un tableau de base de données dresse la liste des cellules existantes, avec les comptes correspondants (fig. 3).

Le modèle peut être étendu à plus de deux

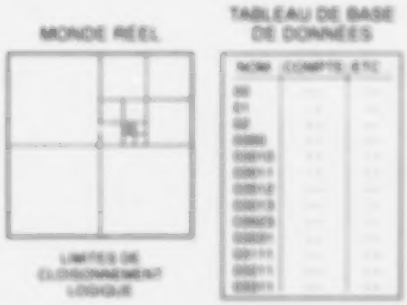


Fig. 3 Cellules définies en nombre de code HH, dans un tableau de base de données.

dimensions, d'où le terme "hyperspatial". En prenant le temps comme troisième dimension et en employant les caractères 0 à 7, on définit un cube. Chaque élément volume devient un élément temps, ou "TOXEL" (fig. 4). Si l'on augmente le nombre de bits nécessaire pour définir un caractère, le modèle est extensible à n dimensions.

A l'intérieur de la base de données, chaque cellule est représentée par un tableau qui est unique. Un "tableau de base de données" est analogue à un fichier et contient des "enregistrements" d'attributs pour chaque élément d'information. Le nom du tableau est lui-même une sous-chaîne du code HH. L'examen de la structure ainsi obtenue révèle plusieurs propriétés importantes pour l'implantation :

- La structure est une simple subdivision de coordonnées, et non une tentative de "pavage" de la surface terrestre; elle peut donc être généralisée dans ses applications.
- Le compte des caractères significatifs donne une mesure immédiate de magnitude pour chaque dimension.
- L'extraction d'une carte en coordonnées du monde réel demande un calcul simple : division par 2.
- La liste ordonnée des codes HH (noms de tableaux) agrège naturellement les données qui sont contiguës au sens spatio-temporel. Le feuillage ou le groupage deviennent inutiles.
- Ayant les données pour moteur, la structure est *dynamique*. Elle fonctionne également bien pour des ensembles de données petits ou grands. On peut définir la limite de saturation des tableaux pour l'adapter aux moyens de calcul et de mémorisation disponibles. Cela annonce la réalisation de volumes et de densités de données vraiment illimités.

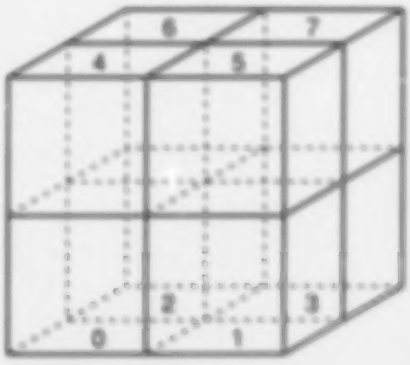


Fig. 4 Diffusion d'un hypercube.

Fonctionnalité HH

Lors du chargement des données d'essai, on a trouvé commode de calculer un code HH pour chaque élément d'information. L'agrégation du point étant réalisée par l'emploi du code, le nombre d'accès aux tableaux existants était minimisé; les données très denses pouvaient ainsi parvenir au niveau ultime de chargement et, d'une manière générale, l'efficacité du chargement était accrue.

La poursuite des essais a révélé que la mémorisation d'un code HH comme attribut pour chaque point établissait un nouveau niveau de fonctionnalité, commode et efficace, en utilisant la puissance relationnelle du logiciel interne de la base de données. En effet, la nature du code est telle que par le simple mécanisme de comparaison ou d'appariement de chaînes (ou de sous-chaînes) de caractères, des groupements naturels se produisent. On peut utiliser ces groupements pour pratiquement n'importe quel type d'opérations sur des groupes - analyse, statistique, sélection, exclusion, visualisation, etc. Bref, les groupements définissent les relations spatio-temporelles entre les points sans les fastidieuses servitudes (pointeurs, arbres, polygones) des systèmes classiques.

Il existe une relation directe entre le nombre de caractères significatifs et l'ordre auquel ils utilisent, on peut l'exprimer en mesures réelles ou la relier à une certaine échelle cartographique. Elle peut être mise à profit pour grouper des éléments d'information en "casiers virtuels", groupement qui est la clé des relations spatio-temporelles (fig. 5). La résolution du code HH dépend du nombre de caractères utilisés. Lors de l'implémentation initiale à titre expérimental (à deux dimensions, en utilisant 30 caractères), la résolution était de 1,63 cm x 1,63 cm sur la surface terrestre.

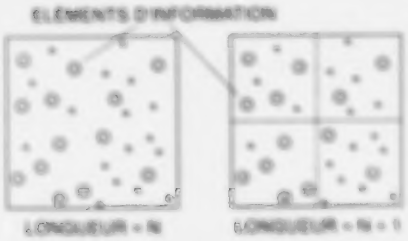


Fig. 5 Casiers virtuels définis par la longueur des sous-chaînes.

Les applications peuvent être exprimées en langage standard d'interrogation de base de données relationnelle, tel que le SQL, pour effectuer des opérations qui n'étaient pratiquement pas réalisables auparavant. Le tableau I donne des exemples :

Tableau I. Applications

STATISTIQUES
- Sélectionner <compte d'items>
- De <tableau>
- Où <item=nom d'item>
- Grouper par sous-chaîne (code HH,1,n)

- Sélectionner <Ecart type (attribut)>
- De <tableau>
- Grouper par sous-chaîne (code HH,1,n)

ANALYSE
- Sélectionner <compte d'items>
- De <tableau>
- Où <item=nom d'item>
- Grouper par sous-chaîne (codeHH,1,n)

TOPOLOGIE
- Sélectionner <code HH>
- De <tableau>
- Où <valeur à l'intérieur de la fourchette>
- Grouper par sous-chaîne (code HH,1,n)
- (Ceci est un contour)

Cette fonctionnalité démontre la capacité de construire de puissants outils universels, applicables pour la validation, l'analyse et la représentation des données. Une correspondance directe peut être établie entre les casiers et les coordonnées affichées sur l'écran, pour la visualisation et la mise en couleur ou dans une échelle de gris. Ses applications ne se limitent cependant pas à la cartographie classique. On peut imaginer facilement, par exemple, de l'utiliser pour générer des TFR (Transformations de Fourier rapides) en employant des interrogations en langage SQL de quatrième génération.

Prototype

A l'automne 1989, on a testé un prototype à deux dimensions en employant le système de gestion de base de données relationnelle ORACLE sur ordinateur MicroVAX II spécialisé. On a chargé des données de différentes densités représentant quelque 600 000 points et provenant de divers lieux géographiques, et on a constaté qu'il était possible, dans une très grande mesure, de charger les données, de formuler des interrogations et d'extraire l'information de la base de données comme on l'avait prévu.

Les performances en temps n'ont pas été impressionnantes en elles-mêmes, mais l'objectif était à ce stade de démontrer la fonctionnalité du concept. Les phases ultérieures du projet viseront à affiner et optimiser les algorithmes, ainsi qu'à déterminer quel est le matériel de calcul le plus efficace.

Fait intéressant à noter, on prévoit que le chargement deviendra plus efficace lorsque la taille de la base de données grandira, car il existera davantage de tableaux et on fera moins de subdivisions. On prévoit aussi une amélioration spectaculaire des performances générales de réponse aux interrogations avec l'emploi des techniques d'optimisation, notamment le codage binaire de la chaîne HH.

Conclusion

Les essais de 1989 démontrent qu'il est possible de mettre en oeuvre la structure HH dans un environnement de base de données relationnelle. L'emploi du code HH comme attribut des données est compatible avec la modélisation numérique et facilite cette approche. La possibilité d'exprimer des relations spatiales à l'aide d'une clé unidimensionnelle le rend pratique. La mosaïque est sans coutures, homogène, indépendante de l'échelle.

Des taux élevés de compression des données sont réalisables, car on peut coder x et y (par exemple, latitude et longitude), ainsi que le temps (année, jour, heure, minute, seconde, etc.). La possibilité d'exprimer des concepts topologiques par l'union de groupements HH suggère la conception d'une base de données linéaire. Cette structure serait praticable pratiquement à n'importe quel type de données spatio-temporelles.

Gestion des données géoscientifique marines

J. Verhoef et A. Sherin

J. Verhoef et A. Sherin

La caractéristique la plus évidente des données géoscientifiques marines est leur diversité : diversité des disciplines qui interviennent, diversité de la distribution spatiale, diversité dans les formes et les méthodes de collecte, diversité de l'importance scientifique relative des différents éléments d'information. Les disciplines des géosciences qui interviennent sont la géophysique, la géologie, la géochimie et le génie géotechnique. Spatialement, les données géoscientifiques peuvent être distribuées de façon régulière, comme c'est le cas dans les levés systématiques et les mosaïques de levés au sonar latéral, ou être dispersées, sans toutefois être nécessairement distribuées au hasard, comme des points discrets. Certaines de ces données sont acquises au moyen de systèmes automatisés, tandis que d'autres sont recueillies laborieusement par des méthodes manuelles qui exigent une conversion en forme numérique au moyen de différentes techniques d'entrée. Une lecture isolée d'une mesure du champ magnétique n'a guère de signification scientifique si elle n'est pas considérée ensemble avec de nombreuses autres; par contre, une seule datation au carbone 14 ou l'identification confirmée d'un unique fossile peuvent avoir une grande importance scientifique. Dans ce contexte, les méthodes de gestion des données scientifiques exigent une grande souplesse et une même méthode ne convient pas dans tous les cas.

Au Centre géoscientifique de l'Atlantique (CGA), où l'on élabore une approche intégrée de la gestion des données, on a fait l'acquisition d'outils tels que des systèmes de gestion de bases de données relationnelles et du matériel serveur de base de données. En même temps, on poursuit d'autres approches adaptées au type de données à gérer, que l'on relie, lorsque c'est possible, à l'approche de la gestion intégrée. Le système mis au point au Centre pour la gestion des profils de champ potentiel est un exemple du second type de système.

Gestion des données de champ potentiel

La base de données de champ potentiel comprend des éléments provenant d'une trentaine d'institutions et d'organismes. La figure 1 donne un aperçu général des procédures et des outils informatiques utilisés pour manipuler et traiter les données. Ces outils sont basés sur une succession d'environ 150 programmes, employés avec une interface usager standard dans un environnement VSM en réseau, sur des formats de fichiers communs, ce qui simplifie l'échange de données entre modules de logiciel.

Tous les profils sont stockés dans des enregistrements multichamps ordonnés temporellement, pouvant comprendre jusqu'à sept paramètres observés simultanément. Un enregistrement d'en-tête formaté est créé pour chaque croisière; il comprend tous les descripteurs et qualificateurs que l'on possède, tels que le type de données, les limites de zones, etc. Pour le moment, toutes les données sont archivées en mode autonome, sur bandes magnétiques. En même temps, un système d'indexage ou de catalogage en direct permet des recherches rapides et l'extraction semi-automatique de sous-ensembles sélectionnés selon différents critères (par exemple, observations dans des limites géographiques définies). Cet index utilisable en direct comprend des logiciels et deux fichiers sur disques, contenant des informations sommaires suffisantes pour décrire la base aux fins de la sélection et de l'extraction des données. Le premier fichier, organisé comme une base de données ORACLE, contient les en-têtes pour tous les ensembles (fig. 2). Le second fichier de l'index contient les données de navigation décimées pour tous les ensembles, avec des codes définissant le type de données et leur disponibilité; on y accède par des programmes individualisés. Il s'agit d'une liste d'emplacements critiques, permettant de reconstituer la route du navire avec une précision spécifiée; l'algorithme de décimation réalise généralement un taux de compression de cent à un.

Un processus en trois étapes est suivi pour extraire les profils de la base de données (fig. 2). 1) En employant des paramètres de recherche appropriés, balayer les enregistrements d'en-têtes emmagasinés dans la base de données ORACLE et identifier ceux qui

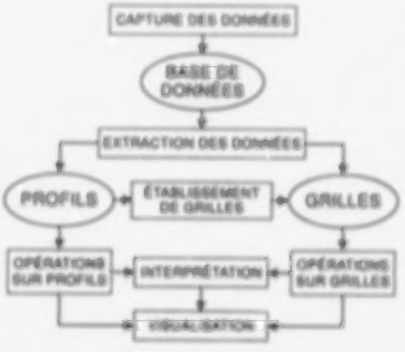


Fig. 1 Vue d'ensemble des outils informatiques utilisés pour manipuler, traiter et visualiser les données de champs potentiels.

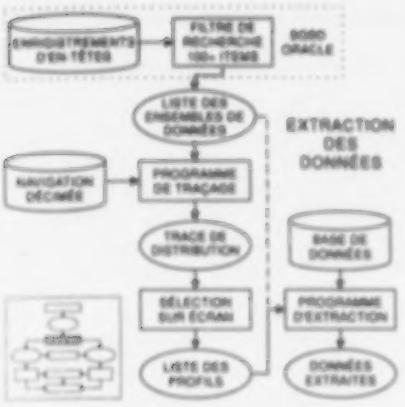


Fig. 2 Index et procédures d'extraction.

répondent aux besoins. Le système crée deux fichiers de procédures : le premier pour extraire les positions correspondantes dans le fichier de navigation décimée; le second pour récupérer les données sélectionnées dans la mémoire autonome. 2) Appelez le premier fichier de procédures sur un terminal graphique pour créer un tracé linéaire qui indique la distribution des données. Cette étape est facultative et sa principale utilité est de permettre de sélectionner seulement certains profils dans l'ensemble dont ils sont extraits. 3) Appelez le second fichier procédures, qui spécifie quelles bandes magnétiques il faut monter pour extraire les données désirées. Le produit est un fichier sur disque qui contient les données.

Ces procédures sont expressément conçues pour des séries chronologiques d'observations le long de la route de navires. Des fonctions comparables sont maintenant développées pour des données archivées sous forme de grille. La conception de base du système d'index et d'extraction est suffisamment souple pour être étendue et adaptée à la manipulation d'autres types de données à référence géographique, telles que la profondeur des couches réfléchissantes des ondes sismiques, la bathymétrie multifaisceaux et les données numériques du sonar latéral.

Les systèmes d'information géographique

Les systèmes d'information géographique (SIG) du commerce sont un autre exemple du second type de systèmes. Les bases de données relationnelles existantes ne sont pas bien structurées pour la gestion de l'information graphique basée sur des cartes. Le langage SQL (Langage d'interrogation structuré), par exemple, ne contient pas les opérandes spatiaux tels que "adjacent", "à l'intérieur de", "près de", etc. qui sont nécessaires pour faire des extractions efficaces, exigeant la connaissance de l'espace géographique qu'occupent les données. Les SIG offrent cette fonctionnalité, en même temps que des outils d'analyse qui permettent de visualiser, manipuler et modéliser les données géographiques. Des bases de données relationnelles font partie intégrante de ces systèmes et assurent la liaison entre les aspects spatiaux des données et leurs attributs (textuels ou numériques). Le CGA utilise trois produits SIG; le CARIS (Système d'information sur les ressources assisté par ordinateur), GIS de Universal Systems Ltd., Fredericton, est utilisé pour la préparation de la série atlas des bassins du CGA; le PC-ARC/INFO, produit de ESRI Ltd., Redlands, CA, sert à appuyer la contribution du CGA à l'étude du port de Halifax et de ses abords; le SPANS (Système d'analyse spatiale), produit de Tydac Technologies, Ottawa, sert à l'analyse des données sur l'affouillement par les icebergs, pour l'atlas des bassins de la mer du Labrador. La figure 3 montre une analyse produite au moyen du CARIS pour l'atlas des bassins de la mer du Labrador. Chacun des éléments graphiques de la carte, comme les courbes de niveaux, les emplacements des puits, etc., peut être relié à des données textuelles et numériques dans une base de données relationnelle.

Gestion des ressources en données du Centre

Afin d'atteindre l'objectif d'établir pour le Centre une base de données intégrée, il faut parvenir à un consensus sur les outils à employer. Le CGA est favorable à l'acceptation de normes telles que le langage d'interrogation structuré (SQL), un protocole de communication TCP/IP (Protocole de télécommunications/Protocole interréseaux) et un système opérationnel UNIX. Ces outils logiciels sont mis en œuvre dans un environnement en réseau, avec un seul ordinateur comme serveur de la base de données. La conversion à ce nouvel environnement de base de données est en cours, et 22 bases de données existantes sont candidates à l'intégration. Elles contiennent divers types de données, depuis les descriptions lithologiques et biostratigraphiques des roches dans les puits d'exploitation offshore jusqu'aux données géotechniques provenant d'échantillons de surface, prélevés pour l'étude de la stabilité du fond marin. Il est prévu que la taille de ce système intégré dépassera 650 mégaoctets.

Conclusions

La mise en œuvre d'une base de données intégrée facilitera les contacts entre le CGA et le monde extérieur. Les initiatives prises pour établir des infrastructures d'information aux échelons régional et national exigent que le CGA établisse la liaison avec les bases de données exploitées par d'autres organismes gouvernementaux et non-gouvernementaux, à la fois pour partager l'information plus efficacement et pour répondre aux besoins d'information des clients de l'extérieur.

Nous remercions Phil Moir qui a produit la figure 3 au moyen du logiciel SIG CARIS.

Fig. 3 Perspective en trois dimensions d'un modèle numérique en élévation de la bathymétrie de la baie d'Hudson, mesurée par le Service hydrographique du Canada à proximité de Poste-de-la-Baleine, Québec. Produite à l'aide d'un logiciel SIG CARIS, cette vue montre, du sud vers le nord, des crêtes produites par des formations rocheuses plongeantes. Une exagération verticale de dix fois a été appliquée.

Organisation et personnel

L'Institut océanographique de Bedford (IOB), le Laboratoire de recherche halieutique de Halifax (LRHH) et la Station biologique de St. Andrews (SBSA) sont des établissements de recherche du gouvernement du Canada administrés par le ministère des Pêches et des Océans (MPO), pour son propre compte et, dans le cas de l'IOB, pour ceux d'autres ministères fédéraux qui y possèdent des laboratoires et du personnel, en l'occurrence le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources (EMR) et celui de l'Environnement. Le premier est représenté à l'Institut par deux organismes, soit le Centre géoscientifique de l'Atlantique de la Commission géologique du Canada et le Laboratoire de l'Administration du pétrole et du gaz des terres du Canada. Le second y possède également deux organismes, soit la Section de recherche sur les oiseaux de mer du Service canadien de la faune et le Laboratoire régional de l'Atlantique du Service de protection de l'environnement. L'IOB loue aussi des locaux aux entreprises suivantes qui œuvrent dans des domaines connexes aux sciences de la mer : ASA Consulting Ltd., Brooke Ocean Technology Ltd., Seaken Oceanography, et Seastar Instrument Ltd.

Voici les principaux groupes présents à l'IOB au 1er décembre 1989, ainsi que le nom de leur chef. Outre les trois établissements de recherche, une partie du personnel se trouve dans des bureaux situés à Halifax dans l'immeuble Hollis (IH). À noter que tous les numéros de téléphone indiqués pour l'IOB, le Laboratoire de Halifax et l'immeuble Hollis commencent par (902) 426.

MINISTÈRE DES PÊCHES ET DES OCÉANS

Région de Scotia-Fundy
Directeur général régional
J.-E. Haché — IH/2581

Directeur régional des sciences
S.B. MacPhee — IOB/3492

Division de l'évaluation et de la liaison, travaux maritimes
H.B. Nicholls, chef — IOB/3246

Services de calcul scientifique
D. Porteous, chef — IOB/2452

Promotion de la technologie océanique
C. Clute — IOB/3698

Direction des sciences biologiques
M.M. Sinclair, directeur — IOB/3130
R.E. Lavoie, directeur adjoint — IOB/2147

Division des poissons marins
R.N. O'Boyle, chef — IOB/4890

Division de l'écologie de l'habitat
D.C. Gordon, chef — IOB/3278

Division des poissons benthiques et de l'aquiculture
(et directeur, Laboratoire de recherche halieutique de Halifax)
J.D. Pringle, chef — LRHH/6138

Division de l'océanographie biologique
T.C. Platt, chef — IOB/3793

Division des poissons d'eau douce et des anadromes
J.A. Ritter, chef — IH/3573

Division des invertébrés et de l'aquiculture
(et directeur, Station biologique de St. Andrews)
R. H. Cook, chef — SBSA/(506) 529-8854

Direction des sciences physiques et chimiques
J.A. Elliott, directeur — IOB/8478

Division de la chimie marine
J.M. Bewers, chef — IOB/2371

Division de l'océanographie côtière
C.S. Mason, chef — IOB/3857

Division de la métrologie
D.L. McKeown, chef — IOB/3489

Division de la circulation océanique
R.A. Clarke, chef — IOB/3489

Direction de l'hydrographie Service hydrographique du Canada (Atlantique)
P. Bellemare, directeur — IOB/3497

Division des levés
R.C. Lewis, chef — IOB/2432

Publications nautiques
S.L. Weston, chef — IOB/7286

Développement hydrographique
R.G. Burke, chef — IOB/3657

Gestion et planification des données
S.T. Grant, chef p. i. — IOB/2411

Marées
C. O'Reilly, chef p.i. — IOB/3846

Direction des services de gestion
E. J. Maher, directeur — IOB/7433

Services maritimes
W. Cottle, chef p.i. — IOB/7292

Ingénierie et services techniques
D.F. Dunn, chef — IOB/3700

Gestion des installations
A. Medynski, chef — IOB/7449

Gestion du matériel
J. Broussard — IOB/3568

Systèmes d'information
C. Crowe, chef — IH/9315

Service de bibliothèque
A. Oxley, chef — IOB/3675

Service d'administration
D. Brown, chef p.i. — IOB/7037

Direction du contrôleur
G.C. Bowdridge, directeur — IH/6166

Opérations de comptabilité et de trésorerie
S. Lucas, chef — IH/3552

Planification et analyse financières
L.Y. Seto, chef — IH/7060

Division de la planification opérationnelle
R.A. Higgins, chef — IH/2271

Direction des communications
J. Gough, directeur — IH/3550

Communications scientifiques
M. Roy — IOB/6414

MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE, DES MINES ET DES RESSOURCES

Centre géoscientifique de l'Atlantique (Commission géologique du Canada)
D.I. Ross, directeur — IOB/3448

Analyse des bassins
M.E. Best, chef — IOB/2730

Géologie du milieu marin
D.B. Prior, chef — IOB/7730

Reconnaissance régionale
M.H. Salisbury, chef — IOB/5687

Soutien des programmes
K.S. Manchester, chef — IOB/3411

Administration
C. Racine, chef — IOB/2111

ENVIRONNEMENT CANADA

Division de la conservation de la faune marine
(Service canadien de la faune)
E.H.J. Hiscock, chef — IOB/3274

Laboratoire régional
(Protection de l'environnement)
H.S. Samant, directeur — IOB/6237

Travaux de recherche

Voici la liste des recherches et des travaux individuels en cours dans les laboratoires de la région de Scotia-Fundy du MPO, au Centre géoscientifique de l'Atlantique du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources et à la Section de recherche sur les oiseaux de mer d'Environnement Canada. Pour obtenir des renseignements à leur sujet, veuillez écrire au Directeur régional des sciences, Région de Scotia-Fundy, ministère des Pêches et des Océans, Institut océanographique de Bedford, C.P. 1006, Dartmouth (Nouvelle-Écosse), B2Y 4A2.

DIRECTION DES SCIENCES BIOLOGIQUES

A. ÉVALUATION DES STOCKS DE POISSONS ET DE MAMMIFÈRES MARINS ET RECHERCHES CONNEXES

1. Évaluation du hareng et recherche connexe (sous-zones 4 et 5)
   (R. Stephenson)
2. Évaluation de l'aiglefin et recherche connexe (divisions 4TW, 4X et 5Ze)
   (R. O'Boyle)
3. Évaluation de la morue et recherche connexe
   (R. O'Boyle)
4. Évaluation de la goberge et recherche connexe
   (C. Annand)
5. Évaluation du merlu argenté et recherche connexe
   (D. Waldron)
6. Évaluation du sébaste et recherche connexe
   (R. O'Boyle)
7. Évaluation des poissons plats et recherche connexe
   (J. Neilson)
8. Études de la marge de la plate-forme continentale et évaluation de l'argentine
   (R. Halliday)
9. Écologie des populations de ver de phoque
   (G. McClelland)
10. Écologie et évaluation des populations de phoques
    (W. Bowen)
11. Études sur la gestion des pêches de poisson de fond
    (R. O'Boyle)
12. Méthodes d'évaluation des stocks
    (R. O'Boyle)
13. Programme national d'échantillonnage (poisson de fond)
    (K. Zwanenburg)
14. Recherche en gestion du Programme international des observateurs (PIO)
    (D. Waldron)
15. Campagne d'évaluation du poisson de fond au chalut
    (J. Hunt)
16. Mesure de l'âge du poisson de fond
    (J. Hunt)
17. Études sur l'ichtyoplancton
    (P. Hurley)
18. Variabilité du recrutement dans les pêches
    (K. Frank)
19. Études sur les otolithes
    (S. Campana)
20. Expériences de marquage du poisson de fond
    (W. Stobo)
21. Processus d'évaluation de la taille des écosystèmes
    (L. Dickie)
22. Évaluation des gros pélagiques et recherche connexe
    (J. Porter)
23. Campagnes d'évaluation acoustique du poisson de fond
    (L. Dickie)
24. Campagnes d'évaluation acoustique du poisson pélagique
    (U. Buerkle)
25. Océanographie et distribution du poisson
    (I. Perry)
26. Campagnes d'évaluation et écologie des poissons juvéniles
    (J. Neilson)
27. Manipulation des données océanographiques
    (J. McRuer, I. Perry)
28. Études sur la gestion du poisson pélagique
    (T. Iles)
29. Expériences de marquage du poisson pélagique
    (W. Stobo)
30. Stratégies de reproduction du poisson de mer
    (T. Lambert)
31. Soutien en traitement électronique de données
    (R. Branton)
32. Études statistiques
    (S. Smith)
33. Communication et recherche coopératives science-industrie sur le poisson de fond
    (P. Hurley)
34. Études sur la structure des stocks
    (K. Zwanenburg)

B. ÉVALUATION DES STOCKS D'INVERTÉBRÉS ET DE PLANTES MARINES ET RECHERCHES CONNEXES

1. Informatique
   (D. Swetnam)
2. Recherche sur les larves de pétoncle
   (M. Tremblay)
3. Modélisation des populations de poisson et des pêcheries
   (R. Mohn)
4. Évaluation des pétoncles du banc Georges et de la plate-forme néo-écossaise et recherche connexe
   (G. Robert)
5. Évaluation des palourdes de haute mer et recherche connexe
   (D. Roddick)
6. Recherche sur les pétoncles
   (E.Kenchington)
7. Évaluation des crustacés du Cap-Breton et recherche connexe
   (R. Elner)
8. Évaluation des plantes marines et recherche connexe
   (G. Sharp)
9. Évaluation des stocks de homard (ZPH 40 et 41), y compris ceux des eaux du large de la plate-forme néo-écossaise et recherche connexe.
   (D. Pezzack)
10. Habitat du homard : méthodologie de l'évaluation et de la recherche
    (R. J. Miller)
11. Étude des stocks de homard – biologie des larves
    (G.C. Harding, J. Pringle)
12. Étude et évaluation des stocks de homard – ZPH 31 et 32
    (J. Pringle)
13. Évaluation du homard et recherche connexe dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse (ZPH 33 et 34)
    (D. Pezzack, J. Tremblay)
14. Évaluation des stocks de moules sauvages et recherche connexe
    (G. Sharp)
15. Cartes des ressources et projets spéciaux
    (G. Black)
16. Recherche sur les pêcheries de myes
    (S. Robinson)

17. Dynamique et évaluation de la population de pétoncles de la baie de Fundy
(S. Robinson)
18. Évaluation des stocks de homard (ZPH 35, 36 et 38)
(P. Lawton)
19. Dynamique et écologie de la population de homards de la baie de Fundy
(P. Lawton)
20. Biologie des invertébrés
(S. Waddy)
21. Potentiel offert par les espèces d'invertébrés sous-exploitées
(S. Robinson, P. Lawton)

C. ÉVALUATION DES STOCKS D'ESPÈCES ANADROMES, MISE EN VALEUR DU SAUMON ET RECHERCHES CONNEXES

1. Évaluation du saumon
(T. Marshall)
2. Évaluation des espèces autres que les salmonidés
(B. Jessop)
3. Mise en valeur du saumon
(R. Cutting)
4. Mise en valeur et ingénierie des passes migratoires
(H. Jansen)
5. Ingénierie de la pisciculture
(H. Jansen)
6. Implantations et transferts de poissons et d'invertébrés
(R. Cutting)
7. Fonctionnement et production des écloseries
(G. Robbins)
8. Recherche sur la pisciculture
(G. Farmer)
9. Collecte et analyse de statistiques sur les espèces anadromes
(S. O'Neil)

D. RECHERCHE EN AQUICULTURE

1. Programme de recherche en génétique du saumon
(R. H. Cook)
2. Croissance, smoltification et reproduction des salmonidés
(R. L. Saunders)
3. Biologie et aquiculture des invertébrés
(D. Aiken)
4. Recherche sur les phytotoxines
(D. Wildish)
5. Aquiculture des poissons de mer
(K. Waiwood)
6. Recherche en écologie de l'aquiculture
(D. Wildish)
7. Besoins environnementaux des poissons aux premiers stades de leur développement
(R. Peterson)
8. Recherche sur les pêches d'invertébrés et aquiculture d'invertébrés
(D. Aiken)
9. Nutrition des invertébrés
(J. Castell)
10. Nutrition du poisson
(S. Lall)
11. Recherche en ichtyopathologie
(G. Olivier)
12. Parasitologie
(C. Morrison)
13. Culture des mollusques et recherches sur les phytotoxines
(D. Scarratt)
14. Coordination de l'aquiculture
(D. Scarratt)
15. Section des services de santé du poisson
(J. Cornick)

E. OCÉANOGRAPHIE BIOLOGIQUE

1. Propriétés bio-optiques des eaux pélagiques
(T. Platt)
2. Respiration, absorption de matières nutritives et regénération des populations naturelles de plancton.
(W. Harrison)
3. Océanographie physique de certaines entités dans le cadre des travaux d'écologie marine
(E. Horne)
4. Physiologie des micro-organismes marins
(W. Li)
5. Bioxyde de carbone et climat : cycles biogéochimiques dans l'océan
(T. Platt)
6. Analyse de la structure de l'écosystème pélagique
(A. R. Longhurst)
7. Utilisation du carbone et de l'azote par le zooplancton et facteurs régissant la production secondaire
(R. Conover)
8. Production secondaire et distribution dynamique du micronecton sur la plate-forme néo-écossaise
(D. Sameoto)
9. Stratification biologique dans l'océan et flux global de carbone
(A. Longhurst)
10. Nutrition et biochimie du zooplancton marin
(E. Head)
11. Dynamique trophique du zooplancton et du micronecton dans l'est de l'Arctique.
(D. Sameoto)
12. Études à terre des communautés de plancton épontique et pélagique situées sous la glace
(R. Conover)
13. Études à bord de navire effectuées en été dans l'est de l'Arctique canadien
(E. Head)
14. Dynamique du métabolisme des microbes et du flux de particules
(P. Kepkay)
15. Modèles mathématiques de communautés pélagiques marines
(G. White)
16. Méthodes d'évaluation des stocks
(G. White)

F. RECHERCHES SUR L'HABITAT

1. Conseils sur l'évaluation de l'habitat du poisson
(D. C. Gordon)
2. Écologie des microbes
(J. E. Stewart)
3. Interactions entre les microbes et les toxines marines
(J. E. Stewart)
4. Physiologie des algues toxiques
(S. R. V. Durvasula)
5. Rôle du picoplancton dans l'écosystème marin
(S. R. V. Durvasula)
6. Programme de surveillance du phytoplancton – Nouvelle-Écosse
(S. R. V. Durvasula)
7. Études de l'habitat du varech et des herbes marines
(K. H. Mann)
8. Évaluation des stocks de myes du littoral et recherche connexe
(T. W. Rowell)
9. Études de l'habitat des mollusques du littoral
(T. W. Rowell)
10. Recherches sur l'habitat du pétoncle
(P. Cranford)
11. Études de l'habitat du zooplancton
(G. C. Harding)
12. Études de l'habitat benthique
(D. L. Peer)
13. Échanges entre les zones benthique et pélagique
(P. D. Keizer)
14. Interactions entre le poisson et son habitat
(S. N. Messieh)
15. Bioénergétique des mammifères marins
(P. F. Brodie)
16. Processus reliés à la grandeur et phénomènes bioénergétiques dans les habitats de production du poisson
(S. R. Kerr)
17. Indices de production des habitats aquatiques
(P. R. Boudreau)
18. Interactions entre les processus physiques et biologiques dans les habitats marins
(K. H. Mann)
19. Évaluation des habitats des estuaires et de la plate-forme continentale
(W. L. Silvert)
20. Flux de contaminants dans les réseaux trophiques de l'océan Arctique
B. T. Hargrave)
21. Études organiques sur le Transport à distance des polluants atmosphériques (TADPA)
(B. Hargrave)
22. Coordination – Transport à distance des polluants atmosphériques (TADPA)
(D. C. Gordon)
23. Soutien en matière d'instruments
(D. P. Reimer)
24. Recherche sur les pluies acides
(W. Watt)

25. Évaluation de l'habitat des poissons d'eau douce et recherche connexe
(W. Watt)
26. Effet d'un faible pH sur le développement des salmonidés
(R. Peterson)
27. Effets des pluies acides sur l'écologie des salmonidés
(G. L. Lacroix)

DIRECTION DES SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

A. SERVICES RELATIFS AU RÉGIME OCÉANIQUE

1. Programme d'échange d'humidité au-dessus de la mer (HEXOS)
(S. D. Smith, R. Anderson)
2. Études de la microstructure dans l'océan
(N. S. Oakey)
3. Mesures de la vélocité près de la surface
(N. S. Oakey)
4. Études sur les flux air-mer de chaleur et de quantité de mouvement à grande échelle spatiotemporelle, à l'aide de formules globales réétalonnées
(F. W. Dobson, S. D. Smith)
5. Rotation descendante et mélange des lentilles salées en Méditerranée
(N. S. Oakey)
6. Mesures en laboratoire de la microstructure de la vélocité dans un système convectif, à l'aide de techniques photographiques
(J. M. Hamilton)
7. Formation de l'eau de la mer du Labrador
(R. A. Clarke, N. S. Oakey)
8. Modélisation de la mer du Labrador
(C. Quon)
9. Variabilité du courant du Labrador
(R. A. Clarke)
10. Mesures de la variabilité du Gulf Stream à l'aide d'instruments mouillés : statistiques et cartographie
(R. M. Hendry)
11. Expérience du bassin de Terre-Neuve
(R. A. Clarke, R. M. Hendry)
12. Problèmes de dynamique des fluides en géophysique
(C. Quon)
13. Expérience de la mer de Norvège et de la mer du Groenland
(R. A. Clarke, N. S. Oakey, P. Jones)
14. Hydrographie de base : Atlantique nord par 48° nord
(R. M. Hendry)
15. Études du courant de l'Atlantique nord et de l'écoulement vers le large des eaux du courant du Labrador
(J. R. N. Lazier)
16. Études de l'emmagasinement de la chaleur dans l'Atlantique nord par bathythermographes à sonde perdue, sur navires océanographiques occasionnels
(F. Dobson)
17. Thermodynamique de la structure et de la circulation océaniques
(E. B. Bennett)
18. Dynamique de la plate-forme continentale – Expérience du chenal d'Avalon
(B. D. Petrie, C. Anderson)
19. Étude des ondes internes à l'aide du Batfish
(A. S. Bennett)
20. Gestion et archivage des données
(D. N. Gregory)
21. Océanographie physique de l'est de l'Arctique
(C. K. Ross)
22. Transport de l'eau dans et par le passage du Nord-Ouest
(S. L. Prinsenberg, E. B. Bennett)
23. Variabilité saisonnière et interannuelle dans le golfe du Saint-Laurent
(G. L. Bugden)
24. Le golfe du Saint-Laurent – Travaux de modélisation numérique
(K. Tee)
25. Courants de marée et courants résiduels – Travaux de modélisation en trois dimensions
(K. Tee)
26. Circulation et flux air-mer dans la baie d'Hudson et la baie James
(S. Prinsenberg)
27. Mise au point d'une méthode efficace de modélisation en trois dimensions de la circulation sur la plate-forme et le talus.
(K. Tee)
28. Sondes CTP et autres capteurs
(A. S. Bennett)
29. Saisie de données en temps réel
(A. S. Bennett)
30. Mise au point de systèmes de mouillage
(G. Fowler, J. Hamilton, A. Hartling, R. F. Reiniger)
31. Techniques de manutention et d'utilisation des systèmes d'instruments et de câbles
(J.-G. Dessureault, R. F. Reiniger)
32. Variabilité climatique inscrite dans les sédiments marins
(J. Smith)
33. Carbonates et substances nutritives dans les régions arctiques
(E. P. Jones)
34. Distribution de l'eau de fonte de la glace de mer
(F. C. Tan, P. Strain)
35. Échange entre les courants gyratoires : flux au sud des Grands Bancs de Terre-Neuve, par 50° ouest
(R. Hendry)
36. Études dans le cadre de l'ECOM
(R. A. Clarke)

B. TRANSPORT ET ÉVÉNEMENTS OCÉANOLOGIQUES

1. Analyse de la trajectoire du pétrole
(D. J. Lawrence)
2. Processus hivernaux dans le golfe du Saint-Laurent
(G. Bugden)
3. Programme de surveillance de l'environnement de Point Lepreau
(J. N. Smith)
4. Situations d'urgence en mer
(E. M. Levy)
5. Nouvelle foreuse Vibracorer commandée de la surface, télécommandée sous la surface ou utilisée à partir d'un véhicule télécommandé
(G. Fowler)

C. RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES EXTRACÔTIÈRES

1. Étude du soulèvement de la houle du vent en pleine mer
(F. W. Dobson)
2. Modélisation de la dérive des icebergs
(S. D. Smith)
3. Glaces de la côte du Labrador
(S. Prinsenberg, I. Peterson)
4. Étude des glaces du golfe du Saint-Laurent
(G. Bugden)
5. Dynamique mer-vent
(W. Perrie, B. Toulany)
6. Mesures des courants près de la surface de l'océan
(P. C. Smith, D. J. Lawrence, J. A. Elliot, D. L. McKeown)
7. Modélisation des glaces et des icebergs en dérive le long des côtes du Labrador et de l'île de Baffin
(M. Ikeda)
8. Circulation à grande échelle dans la mer du Labrador et la baie de Baffin
(M. Ikeda)
9. Étude des glaces du Labrador – Travaux sur le terrain
(I. Peterson, S. Prinsenberg)
10. Tempêtes et zone côtière : composante océanographique du Programme d'études des tempêtes dans l'Atlantique canadien
(P. C. Smith, W. Perrie, F. W. Dobson, D. A. Greenberg, D. J. Lawrence)
11. Origine dynamique des mouvements à basse fréquence sur la plate-forme de Terre-Neuve et du Labrador
(D. Wright, J. Lazier, B. Petrie)
12. Travaux sur la marge de glace du Labrador
(C. Tang, M. Ikeda)
13. Poussées de courant et brassage sur la plate-forme continentale, dus à des ondes internes de grande amplitude
(H. Sandstrom, J. A. Elliott)
14. Océanographie de la plate-forme continentale de Terre-Neuve
(B. D. Petrie, D. A. Greenberg)
15. Étude de la variabilité des courants et de la dynamique de la couche mixte dans la partie nord-est des Grands Bancs de Terre-Neuve
(C. L. Tang, B. D. Petrie)

16. Anémomètres pour bouées dérivantes
(J.-G. Dessureault, D. Harvey)
17. Systèmes de positionnement acoustique par rapport au fond
(D. L. McKeown)
18. Systèmes de positionnement par rapport à un navire
(D. L. McKeown)
19. Profileur de courant à effet Dopler
(J. Whitman)
20. Mise au point d'un flotteur lagrangien de surface
(D. L. McKeown, G. Fowler)
21. Profileur acoustique de courant de fond
(D. Belliveau, N. Cochrane)
22. Techniques de récupération et d'avitaillement du sous-marin DOLPHIN en mission
(J.-G. Dessureault, R. Vine – IST)
23. Composantes des hydrocarbures pétroliers
(E. Levy)
24. Biodégradation du pétrole dans l'Arctique canadien
(E. Levy, K. Lee)
25. Éléments-traces dans le milieu marin
(P. Yeats)
26. Mesure de l'activité des oxydases microsomales (OFM) chez la plie rouge comme indicateur de la pollution par le pétrole
(R. F. Addison, J. F. Payne, J. Osborne)
27. Stress causé aux poissons juvéniles par les hydrocarbures
(J. H. Vandermeulen)
28. Cycle des contaminants dans les eaux estuariennes
(J. H. Vandermeulen)
29. Mesure des vagues pendant le programme d'étude des tempêtes
(F. W. Dobson)
30. Mouillage de fond résistant aux chaluts pour les instruments océaniques
(J.-G. Dessureault)
31. Système permettant l'emploi d'instruments de subsurface remorqués dans des conditions de glaces marines légères à modérées
(R. A. Clarke)
32. Échanges verticaux et horizontaux sur le banc Georges
(J. Loder, K. Drinkwater, E. Horne, N. Oakey)
33. CO_2 océanique
(E. P. Jones)
34. Altération de pétoncles par des déblais de forage d'hydrocarbure
(R. F. Addison)
35. Volatilité des hydrocarbures
(E. Levy)
36. Interactions entre le champ de vent et les vagues
(F. Dobson, S. Smith, W. Perrie)
37. Système de gestion des données océanographiques
(D. Gregory, G. Boudreau)
38. Dynamique des vagues et des glaces
(W. Perrie, B. Toulany)
39. Étude de courants océaniques dans les eaux canadiennes de l'Atlantique à l'aide de l'altimétrie et de la modélisation satellitaires
(M. Ikeda)
40. Perspective sur la pollution émanant de l'industrie du pétrole extracôtier
(E. Levy)
41. Conception d'un mouillage résistant à la glace
(G. Fowler, D. Belliveau, J. Hamilton)
42. Conception de systèmes d'acquisition continuelle de données océanologiques
(D. Belliveau, J. Hamilton, G. Fowler)
43. Conception d'une plate-forme d'acquisition de données atmosphériques en temps réel
(J. Hamilton, G. Fowler, D. Belliveau)
44. Flux de glace marine sur les plate-formes terre-neuviennes
(S. Prinsenberg)
45. Océanographie dans le cadre du Programme canadien d'étude des tempêtes dans l'Atlantique
(P. Smith)

D. RESSOURCES VIVANTES

1. Circulation au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse : l'expérience du cap de Sable
(P. C. Smith, K. Tee, R. Trites)
2. Expérience du rebord de la plate-forme : dynamique des basses fréquences et brassage sur le rebord de la plate-forme néo-écossaise
(P. C. Smith, B. D. Petrie)
3. Circulation et dispersion sur le banc Browns : l'océanographie physique dans le programme d'écologie des pêches
(P. C. Smith)
4. Surveillance à long terme du courant du Labrador sur le banc Hamilton
(J. Lazier)
5. Surveillance à long terme de la température
(D. Gregory, B. Petrie, E. Verge)
6. Conception d'une installation de télédétection
(C. S. Mason, B. Topliss, L. Payzant)
7. Échanges horizontaux et verticaux sur le platier du Grand Banc
(J. W. Loder, C. K. Ross)
8. Capteurs biologiques remorqués
(A. W. Herman)
9. Dynamique de la production primaire et secondaire sur la plate-forme néo-écossaise
(A. W. Herman)
10. Capteurs biologiques à profilage vertical
(A. W. Herman)
11. Broutage du zooplancton et dynamique du phytoplancton
(A. W. Herman)
12. Mouillages de capteurs biologiques
(A. W. Herman, M. R. Mitchell)
13. Propriétés optiques des eaux canadiennes
(B. J. Topliss)
14. Instruments de mesures biologiques pour l'Arctique
(A. Herman, D. Knox)
15. Treuil automatique pour remorquer les échantillonneurs à plancton
(M. Mitchell, J.-G. Dessureault, A. Herman, S. Young, D. Harvey)
16. Balayage acoustique multifréquence de la colonne d'eau
(N. A. Cochrane)
17. Détermination de l'âge des poissons par la mesure de $^{210}Pb/^{226}Ra$ dans les otolithes
(J. N. Smith)
18. Taux de croissance du pétoncle géant *(Placlopen Magellanicus)* mesuré par les isotopes de l'oxygène
(F. C. Tan, D. Roddick)
19. Analyse des masses d'eau dans les zones de l'OPANO
(R. W. Trites, K. Drinkwater)
20. Effets de l'écoulement de la baie d'Hudson sur la plate-forme du Labrador
(K. Drinkwater)
21. Études sur le transport et la diffusion des larves
(R. W. Trites, T. W. Rowell, E. G. Dawe)
22. Variabilité climatique dans les zones de l'OPANO
(R. Trites, K. Drinkwater)
23. Variabilité environnementale – Corrélations, configurations et échelles de réaction
(K. Drinkwater, R. Trites)
24. Fjords de l'île de Baffin
(R. W. Trites)
25. Variabilité et origine de la couche froide intermédiaire sur les plates-formes du Labrador et de Terre-Neuve
(S. A. Akenhead, J. R. N. Lazier, J. W. Loder, B. D. Petrie)
26. Cartographie de la distribution des particules au moyen d'un engin téléguidé
(D. L. McKeown, D. Sameoto, N. S. Oakey, G. Steeves)
27. Identification des caractéristiques de l'océan au moyen de techniques de représentation à spectres multiples, à distance et sur place
(B. Topliss)
28. Enregistreur de TLC (Température, lumière, courant)
(J.-G. Dessureault, B. Beanlands)
29. Échange entre les eaux du large et celles des estuaires, des anses et des enfoncements de la côte dans la région de Scotia-Fundy
(G. Bugden)
30. Océanographie physique en conjonction avec le programme d'établissement du profil du phytoplancton
(G. Bugden)
31. Classification des estuaires, anses et enfoncements de la côte
(R. W. Trites, B. D. Petrie)
32. Océanographie de la région de Quoddy
(R. W. Trites)

33. Études sur le port de Halifax
(D. J. Lawrence, B. Petrie)
34. Déflecteurs de lobes secondaires des profileurs acoustiques de courant Dopler
(D. Belliveau)
35. Sonar d'avant-garde à multifréquences
(N. A. Cochrane)
36. Conception d'un modèle aux éléments finis pour la circulation dans la zone côtière et sur la plate-forme
(D. Greenberg)
37. Compteur de particules au laser
(A. W. Herman, E. F. Phillips, D. Knox, M. Mitchell, S. Young)
38. Détecteur optique de microzooplancton
(A. W. Herman, E. F. Philips, D. Knox, M. Mitchell, S. Young)
39. Diagnostic des problèmes de mesure des courants par gros flux au moyen de courantomètres à ailettes Aanderaa
(J. M. Hamilton, G. A. Fowler)

E. BIOCHIMIE

1. Échantillonnage *in situ* de la matière particulaire en suspension
(G. Fowler, B. Beanlands)
2. Géochimie des métaux-traces dans les zones estuariennes et côtières
(P. A. Yeats, D. H. Loring)
3. Géochronologie et géochimie des sédiments dans le fjord du Saguenay
(J. N. Smith)
4. Transport du carbone organique dans les grands fleuves du monde : le fleuve Saint-Laurent, Canada
(R. Pocklington, F. Tan)
5. Géochimie des isotopes dans les grands estuaires du monde
(F. C. Tan, J. M. Edmond)
6. Géochimie des métaux-traces dans les zones de mélange estuariennes
(P. Yeats, J. Dalziel)
7. Géochimie des métaux-traces dans l'Atlantique nord
(P. A. Yeats, J. Dalziel)
8. Constituants naturels de la matière organique marine
(R. Pocklington)
9. Mesures des radionucléides dans l'Arctique
(J. Smith)
10. Étude des isotopes dans le carbone organique particulaire et dissous, en eau profonde et dans les zones côtières
(F. C. Tan, P. Strain)
11. Expériences canado-allemande Caisson
(D. H. Loring, F. Prosi)
12. Mise au point de méthodes d'étude des organochlorés d'origine atmosphérique dans l'Atlantique nord-ouest et l'Arctique)
(R. F. Addison, G. C. Harding, B. T. Hargrave)
13. Transport des métaux-traces dans l'Atlantique ouest
(P. Yeats)
14. Hydrocarbures à faible poids moléculaire : contribution possible aux besoins en carbone et en énergie des pétoncles des eaux du large et des proies des jeunes gadidés sur le banc Georges
(E. Levy, F. Tan, K. Lee)
15. Contribution de l'émission naturelle à la productivité benthique de la plate-forme continentale au large de l'île de Baffin
(E. M. Levy, F. C. Tan, K. Lee)
16. Définition des conditions de dépôt à partir des spectres granulométriques des sédiments abyssaux
(K. Kranck)
17. Rôle de la floculation dans le flux de particules au sein du milieu marin
(K. Kranck)
18. Réactivité chimique dans les couches océaniques de surface
(P. Strain)

F. TOXICOLOGIE, CONTAMINANTS ET HABITAT

1. Programme canadien des normes de chimie analytique marine
(J. M. Bewers, J. Uthe, P. A. Yeats, D. H. Loring)
2. Activités internationales
(J. M. Bewers, P. A. Yeats, D. H. Loring, J. Uthe, R. Misra, R. Addison)
3. Pollution des sédiments et des matières en suspension par les métaux lourds sur la plate-forme du Groenland
(D. H. Loring, G. Asmund)
4. Évaluation des risques liés aux produits chimiques toxiques
(J. F. Uthe, R. Misra, C. L. Chou, N. Prouse)
5. Évaluation de l'habitat et recherche connexe – Pluies acides
(J. Uthe, P. Yeats, G. B. Sangalang)
6. Évaluation des risques que présentent les produits chimiques organiques pour les pêches
(V. Zitko)
7. Indicateurs biochimiques de la santé des animaux aquatiques
(K. Haya, B. A. Waiwood, L. E. Burridge)
8. Induction des enzymes OFM par les BPC et leurs substituts
(R. F. Addison)
9. Organochlorés chez les phoques
(R. F. Addison)
10. Contaminants sublétaux : devenir et effets à long terme de la pollution des systèmes aquatiques par les hydrocarbures pétroliers
(J. H. Vandermeulen)
11. Interaction de la toxicité et de la mutagénécité dans les échantillons prélevés dans un milieu naturel pollué
(J. H. Vandermeulen)
12. Toxicologie aquatique des phytotoxines marines
(K. Haya, L. Burridge, B. A. Waiwood)
13. Conception d'une stratégie de surveillance des contaminants à variables et constituants multiples
(R. Mistra, J. Uthe, D. Loring, P. Yeats, C. Chou)
14. Études des toxines amino-acidiques des mollusques
(R. Pocklington)
15. Toxines des mollusques - Techniques et améliorations
(V. Zitko)

DIRECTION DE L'HYDROGRAPHIE

A. HYDROGRAPHIE

1. Levés des côtes et des ports (provinces de l'Atlantique) :
Dipper Harbour (N.-B.)
Annapolis Royal et rivière Annapolis
De Point Lepreau à Saint John (N.-B.)
Baie de St. John's, nord-ouest de T.-N.
(V. J. Gaudet)
Restigouche (N.-B.)
(G. Rockwell)
Port de St. John's (T.-N.)
Cap St. Francis (T.-N.)
Baie de Bonavista (T.-N.)
Bras Smith et Randon – baie de Trinity (T.-N.)
De l'île Greenspond à cap Freels (T.-N.)
De l'île Bacalhao à l'île Black, Twillingate (T.-N.)
Lewisport et Botwood (T.-N.)
Springdale (T.-N.)
St. Anthony (T.-N.)
Punchbowl, Labrador
(J. Goodyear)
2. Levés des côtes et des ports (Labrador et Arctique) :
baie de Tuchialic, Labrador
baie Big, Labrador
Cap Kiglapait, Labrador
Loks Land, île de Baffin
Cap Mercy, île de Baffin
Fjord Kangok, île de Baffin
Du cap Jamieson au cap Christian, Île de Baffin
(Contrat)
Nain, Labrador
(G. Henderson)
Fjord Griese
Passage Resolute et baie Allen
Île de Bathurst sud
(E. J. Comeau)
3. Levés multidisciplinaires au large :
Plate-forme néo-écossaise (N.-É.)
(G. Henderson)
4. Levés acoustiques - Ports et havres de la côte atlantique
Baie de Barrington (N.-É.)
Shelburne (N.-É.)
Lockeport (N.-É.)
Liverpool (N.-É.)
Riverport (N.-É.)
Port de Halifax et bassin de Bedford
Porters Lake (N.-É.)
Sheet Harbour (N.-É.)
Canso Harbour (N.-É.)
Sydney (N.-É.)
Pictou (N.-É.)

Lamèque (N.-B.)
Caraquet (N.-B.)
(D. A. Blaney)

5. Levés de révision
Chance Harbour (N.-B.)
Île Brier (N.É.)
(V. J. Gaudet)

B. MARÉES, COURANTS ET NIVEAUX DE L'EAU

1. Soutien permanent aux levés et à la production de cartes du SHC
(C. O' Reilly, O. Nadeau, C.P. McGinn, G. B. Lutwick, F. Carmichael)
2. Réseau permanent des marégraphes et des indicateurs de niveau de l'eau
(C. O' Reilly, O. Nadeau, C.P. McGinn, G. B. Lutwick, F. Carmichael)
3. Révision et mise à jour des Tables des marées et des Instructions nautiques
(C. O'Reilly, O. Nadeau)
4. Soutien des activités scientifiques et techniques : Étalonnage et entretien des instruments portatifs et submersibles. Analyse des marées du bassin des Mines (Five Island) pour le compte de l'université de Queens. Levés marégraphiques – Limite de la marée de la rivière Miramichi. Conception d'un marégraphe télécommandé pour les marées de l'Arctique (par lien avec le satellite ARGOS et communications électromagnétiques sous-marines de données). Conception du système d'information sur le niveau des eaux océaniques (COWLIS). Conception d'un système d'informations géographiques sur les marées et les courants (Base de données/modélisation)
(C. O'Reilly, O. Nadeau, C. P. McGinn, G. B. Lutwick, F. Carmichael)

C. PRODUCTION DE CARTES MARINES

1. Production de cartes :
10 nouvelles cartes (à l'interne)
7 nouvelles cartes (à contrat)
13 nouvelles éditions
2 nouvelles éditions pour le LORAN-C
30 annexes graphiques
200 Avis aux navigateurs
(S. Weston, F. Miller, A. Hantzis, E. Lischenski)
2. Instructions nautiques : Publication d'instructions nautiques pour la côte Atlantique et la baie de Fundy, en Nouvelle-Écosse
(S. Weston, R. Pietrzak)

D. GESTION ET PLANIFICATION DES DONNÉES

1. Mises à jour et maintien du système de gestion des données du répertoire principal du Centre de données hydrographiques
(K. MacDonald, S. Nickerson)
Interaction avec la Section de validation
(K. MacDonald, S. Nickerson)
Conception d'un système national de gestion des dossiers
(K. MacDonald)
2. Validation : Validation de nouvelles cartes
4847 Baie de Conception (T.-N.)
(J. LaRose, B. McCorriston)
4121 Anse Seal, Letang (N.-B.)
(S. Dunbrack)
Validation de nouvelles éditions
7552 Détroit de Bello et ses approches
(R. Haase)
4394 De la rivière LaHave à West Ironbound
(F. Burgess)
4395 Rivière LaHave (N.-É.)
(R. Haase)
7511 Passage Resolute
(G. Stead)
Validation de documents provenant d'organismes externes
249 documents
3 000 Avis aux navires et avis internationaux aux navigateurs
47 numérisation de minutes de terrain
(W. Burke, A. Hantzis, G. Stead, S. Dunbrack, C. O'Reilly, G. Rankine, D. Roop, R. Haase)
3. Navigation
Entretien du BIONAC et services aux usagers
(H. Boudreau)
Établissement de grilles LORAN-C
(N. Stuifbergen)
Navigation – Services aux usagers et formation
(H. Boudreau, N. Stuifbergen)
4. Systèmes de gestion des données – Ensemble de données ponctuelles : Phase I – Validation de principe
(H. Boudreau, H. Varma)
Ensemble de données ponctuelles : Phase II – Prototype de bathymétrie
(H. Boudreau, H. Varma)

E. DÉVELOPPEMENT HYDROGRAPHIQUE

1. Développement et coordination de la recherche
(R. G. Burke)
2. Essais du DOLPHIN
(R. G. Burke, G. Costello)
3. Logiciel de traitement des données du *F.C.G. Smith*
(S. Forbes)
4. Amélioration des levés automatiques
(K. White, S. Forbes)
5. Amélioration des technique de cartographie assistée par ordinateur
(S. Forbes, K. White)

ENVIRONNEMENT CANADA, CONSERVATION ET PROTECTION, SERVICE CANADIEN DE LA FAUNE, SECTION DE RECHERCHE SUR LES OISEAUX DE MER

A. DISTRIBUTION ET ÉCOLOGIE DES OISEAUX DE MER DANS LE CANADA ATLANTIQUE ET DANS L'EST DE L'ARCTIQUE CANADIEN

1. Distribution et tendances de la population d'oiseaux de mer dans le Canada atlantique (goélands, sternes et cormorans)
(A. R. Lock)
2. Études de la reproduction et de la survie des sternes, et gestion à des fins d'accroissement de la population
(A. R. Lock)
3. Étude intégrée d'une lagune de palétuviers dans l'état de Oaxaca, au Mexique
(S. R. Lock, M. Malone)
4. Utilisation de l'habitat et populations hivernales des oiseaux fréquentant les terres humides de la côte mexicaine du Pacifique
(A. R. Lock)
5. Répertoire des colonies d'oiseaux de mer – Système informatisé de gestion de base de données pour les oiseaux de mer nichant en colonies dans l'est du Canada
(D. N. Nettleship, G. N. Glenn)
6. Conception de méthodes de gestion des populations d'oiseaux de mer menacés
(D. N. Nettleship)
7. Distribution et abondance des oiseaux de mer nicheurs dans le nord-est de l'Amérique du nord
(D. N. Nettleship)
8. Marmettes de Brunnich *(Uria lomvia)* dans l'Extrême-Arctique canadien : situation, changements récents et gestion
(D. N. Nettleship)
9. Modélisation des effets de la chasse sur les marmettes de Brunnich *(Uria lomvia)* qui nichent dans l'est du Canada et l'ouest du Groenland
(D. N. Nettleship)
10. État et tendances de la population de macareux moines *(Fratercula arctica)* à Terre-Neuve
(D. N. Nettleship)
11. Pêches commerciales et oiseaux de mer – Effets de la pénurie de nourriture sur la productivité du macareux moine *(Fratercula arctica)*
(D. N. Nettleship)
12. Réinsertion du macareux moine *(Fratercula arctica)* dans ses anciens lieux de nichage du Maine
(D. N. Nettleship)
13. Étude des populations d'alcidés de l'île Machias Seal (N.-B.)
(D. N. Nettleship)

14. Distribution pélagique des oiseaux de mer à Terre-Neuve et dans l'est de l'Arctique d'après des relevés aériens *(R. G. B. Brown)*
15. Répertoire des principaux lieux fréquentés par les oiseaux de mer nicheurs et non nicheurs dans le Canada atlantique *(R. G. B. Brown)*
16. Étude des changements récents dans les habitudes de migration d'automne du phalarope roux et du phalarope hyperboréen *(Phalaropus fulicarius* et *P. lobatus)* dans la baie de Fundy *(R. G. B. Brown)*
17. Réduction des pertes de moules d'élevage dues aux canards de mer *(E. H. J. Hiscock)*

B. ÉTUDES LIMNOLOGIQUES DES HABITATS DES OISEAUX AQUATIQUES

1. Coordination des études de TGDPA à Kejimkujik (surveillance intégrée) *(J. Kerekes)*
2. Effets des précipitations acides sur les nutriments et les invertébrés *(J. Kerekes)*
3. Étude des oiseaux piscivores dans les bassins hydrographiques de Kejimkujik *(J. Kerekes)*

CENTRE GÉOSCIENTIFIQUE DE L'ATLANTIQUE

A. PROGRAMME DE GÉOLOGIE CÔTIÈRE

1. Littoral de la mer de Beaufort *(P. R. Hill)*
2. Environnements et processus côtiers dans les îles de l'Arctique canadien *(R. Taylor)*
3. Morphologie côtière et dynamique des sédiments au sud-est et à l'est du Cap-Breton (Nouvelle-Écosse) *(R. B. Taylor)*
4. Avis consultatifs sur les problèmes environnementaux de nature physique dans la zone côtière (axés sur les foraminifères et les ostracodermes) *(R. Taylor)*
5. Morphologie, sédimentologie et dynamique de la côte de Terre-Neuve *(D. L. Forbes)*
6. Sédiments et minéraux non combustibles de la zone littorale *(G. Fader)*
7. Dynamique des sédiments et processus de dépôt dans la zône côtière *(D. L. Forbes)*

B. GÉOLOGIE DES ANSES CÔTIÈRES

1. Étude des propriétés des sédiments du littoral dans la baie de Fundy *(C. L. Amos)*
2. Transfert des sédiments du continent vers la plate-forme continentale (SEDFLUX) *(J. Syvitski)*
3. Dynamique des sédiments du fond de la baie de Fundy *(C. L. Amos)*
4. Expérience-pilote – Réaction thermique des foraminifères benthoniques de la zone littorale *(C. Schafer)*
5. Données paléoclimatiques et paléo-écologique récentes inscrites dans les sédiments des fjords *(C. T. Schafer)*

C. GÉOLOGIE DU SUD-EST DE LA MARGE CANADIENNE

1. Géologie du substrat rocheux et des dépôts meubles des Grands Bancs de Terre-Neuve et de la plate-forme néo-écossaise *(G. L. Fader)*
2. Études comparatives des marges continentales du Canada *(M. J. Keen)*
3. Compilations informatisées de données de cartes géologiques du large de l'est canadien *(G. Fader)*
4. Aspects techniques de la géologie de la plate-forme continentale de l'Atlantique *(R. Parrott)*
5. Modèle du faciès de turbidités modernes *(D. Piper)*
6. Affouillement des plates-formes continentales par les glaces *(C. F. M. Lewis)*
7. Étude géotechnique des plates-formes et des talus de l'est et de l'Arctique canadiens *(K. Moran)*
8. Stabilité et transport des sédiments sur les plates-formes continentales *(C. L. Amos)*
9. Processus géologiques du quaternaire sur les talus continentaux *(D. Piper)*

D. GÉOLOGIE DE L'EST DE L'ARCTIQUE ET DU SUBARCTIQUE

1. Programme de cartographie géologique du substrat rocheux et des dépôts meubles dans l'est de la plate-forme de l'île de Baffin *(B. MacLean)*
2. Échantillonnage et étude des sédiments de l'île de glace *(P. Mudie)*
3. Géologie des couches superficielles de chenaux des îles de l'Arctique – PIPGN II *(B. MacLean)*
4. Paléo-écologie quantitative du quaternaire dans l'est du Canada *(P. Mudie)*
5. Méthodes de biostratigraphie du quaternaire dans l'étude des sédiments marins *(G. Vilks)*
6. Géologie superficielle, géomorphologie et glaciologie de la mer du Labrador *(H. Josenhans)*
7. Variation temporelle et spatiale des courants profonds dans l'ouest de la mer du Labrador *(C. T. Schafer)*

E. GÉOLOGIE DE L'ARCTIQUE OCCIDENTAL

1. Géologie et géomorphologique des dépôts meubles – baie MacKenzie et plate-forme continentale de Beaufort *(S. M. Blasco)*

F. GÉOCHIMIE

1. Diagenèse et cycles géochimiques *(R. Cranston)*
2. Début de la diagenèse dans les sédiments marins du quaternaire de l'est et de l'Arctique canadiens *(D. Buckley)*
3. Géologie de l'environnement marin de l'anse et des approches de Halifax *(D. Buckley)*

G. LEVÉS DE GÉOPHYSIQUE RÉGIONAUX

1. Champs potentiels de la côte est *(R. MacNab)*
2. Interprétation des données sur les champs potentiels *(J. Verhoef)*
3. Anomalies magnétiques et gravitationnelles dans les bassins sédimentaires *(B. Loncarevic)*
4. Compilations magnétiques dans l'Atlantique nord et dans l'Arctique *(R. MacNab)*
5. Cartographie de l'océan *(R. MacNab)*
6. Géophysique régionale du mésozoïque cénozoïque de la baie de Baffin et de la marge du Labrador *(A. Edwards)*

H. ÉVALUATION DES RESSOURCES D'HYDROCARBURES

1. Inventaire des hydrocarbures des bassins sédimentaires de l'est canadien *(M. E. Best)*
2. Interprétation des données de géophysiques recueillies sur la marge de la plate-forme néo-écossaise et dans les régions adjacentes pour la synthèse de bassin et l'estimation du potentiel d'hydrocarbures *(B. C. MacLean)*
3. Études de la maturation *(K. D. McAlpine)*
4. Études de la surpression des bassins sédimentaires au large de l'est canadien *(M. E. Best)*

5. Études sédimentologiques et géochimiques des réservoirs d'hydrocarbures au large de l'est canadien.
(D. J. Cant)

I. BIOSTRATIGRAPHIE

1. Zonation biostratigraphique (foraminifères, ostracodes) des roches mésozoïques et cénozoïques de la plate-forme de l'Atlantique
(P. Ascoli)
2. Dinoflagellés – Projet de forage en mer profonde
(G. L. Williams)
3. Stratigraphie quantitative en paléo-océanographie et dans l'analyse des bassins pétroliers
(P. Gradstein)

J. BASE DE DONNÉES GÉOLOGIQUES

1. Conversion des bandes magnétiques du CGA en documents d'archives
(I. Hardy)
2. Étude gériatrique des plates-formes continentales de l'est canadien et de l'Arctique
(I. Hardy)
3. Base de données – Puits du large de la côte est
(G. L. Williams)
4. Base de données palynologiques
(G. Williams)

K. PROGRÈS DE LA TECHNOLOGIE GÉOLOGIQUE

1. Conception d'un carottier à piston de grand diamètre
(B. MacKinnon)
2. Développement des capacités de géoscience marine du brise-glace Polar 8
(K. Manchester)
3. Conception et mise en oeuvre de techniques d'exploitation de véhicules télécommandés
(K. Manchester)

L. ACTIVITÉS BIOLOGIQUES SPÉCIALES

1. Atlas des bassins du large de l'est canadien
(D. J. Ross)
2. Géologie du substrat rocheux de la baie d'Hudson
(A. Grant)
3. Étude géophysique du puits Montagnais
(A. Edwards)
4. Programme de forage en mer (Planification)
(D. J. Ross)
5. Formulation d'avis scientifiques à l'intention des pays en développement
(D. J. Ross)

M. ÉTUDE DES STRUCTURES GÉOLOGIQUES PROFONDES

1. Sismique-réfraction dans l'océan Arctique et mesures géophysiques connexes
(R. Jackson)
2. Études comparatives des marges continentales de la mer du Labrador et de l'Atlantique nord
(S. Srivastava)
3. Propriétés de l'écorce
(M. Salisbury)
4. Étude géophysique de la région du golfe du Saint-Laurent
(F. Marillier)
5. Études de sismique-réflection marine profonde au large de l'est du Canada
(C. E. Keen)
6. Programme de forage dans la mer du Labrador et la baie de Baffin
(S. Srivastava)
7. Histoire de la géologie régionale et de la tectonique des Appalaches au Canada
(G. Stockmal)
8. Sismique-réfraction dans la mer du Labrador et la baie de Baffin
(R. Jackson)
9. Études sismiques des marges continentales et des bassins océaniques de l'Atlantique nord (LASE)
(I. E. Reid)

N. MODÉLISATION GÉOPHYSIQUE THÉORIQUE

1. Processus d'accrétion et développement des marges continentales passives
(C. E. Keen)

O. ANALYSE DE BASSIN ET GÉOLOGIE DU PÉTROLE

1. Compilation de données géoscientifiques recueillies dans les bassins du paléozoïque supérieur du sud-est du Canada
(R. D. Howie)
2. Interprétation géologique des données géophysiques pour la synthèse de bassin et l'inventaire des hydrocarbures
(A. C. Grant)
3. Évolution lithologique et migration des fluides des bassins océaniques de l'est du Canada
(A. Fricker)
4. Atlas palynostratigraphiques
(R. Fensome)
5. Géologie superficielle régionale des roches mésozoïques et cénozoïques des marges continentales de l'Atlantique
(J. A. Wade)
6. Évolution des bassins sédimentaires de la marge continentale de Terre-Neuve, du Labrador et de la baie de Baffin
(K. D. McAlpine)
7. Stratigraphie et sédimentologie des roches mésozoïques et tertiaires de la marge continentale de l'Atlantique
(L. F. Jansa)

Expéditions

Cette section décrit les navires que le ministère des Pêches et des Océans, Région de Scotia-Fundy, exploite à des fins de recherche scientifique et de levés hydrographiques. Elle énumère également les expéditions et les recherches entreprises par ces navires en 1988 et 1989. Il y est aussi fait état des missions effectuées à bord de bateaux non exploités par le Ministère, mais auxquelles des scientifiques de la Région de Scotia-Fundy du MPO ou du Centre géoscientifique de l'Atlantique d'EMR ont participé.

On y utilise les abréviations suivantes :

DSB	Direction des sciences biologiques
SHC	Direction de l'hydrographie, Service hydrographique du Canada
DSPC	Direction des sciences physiques et chimiques
CGA	Centre géoscientifique de l'Atlantique
INRS	Institut national de recherche scientifique
DÉLTM	Direction de l'évaluation et de la liaison, travaux maritimes

N.S.C. *BAFFIN*

• Le N.S.C. *Baffin* est un navire à propulsion diesel équipé pour les levés hydrographiques, mais servant aussi pour l'océanographie en général. Il appartient au MPO et est exploité par la Région de Scotia-Fundy du Ministère.

• Caractéristiques principales – Coque de classe Lloyds Ice I... construit en 1956... 86,9 m de longueur... 15,1 m de largeur... 5,7 m de tirant d'eau... 3, 3 m du franc-bord au pont de travail... 4 987 tonnes de déplacement... 3 511 tonnes de jauge brute... vitesse maximale de 15,5 noeuds... vitesse de croisière de 10 noeuds... autonomie de 76 jours... distance franchissable de 18 000 milles marins à la vitesse de croisière... équipe hydrographique de 29 personnes... locaux prévus pour le dessin, le traçage et les laboratoires... ordinateur Micro Vax II... plate-forme et hangar à hélicoptère... deux hélices et propulseur d'étrave pour le maintien de la position... six vedettes hydrographiques.

• En 1988, 248 jours en mer et 35 252 milles marins parcourus.

• En 1989, 180 jours en mer et 18 585 milles marins parcourus.

ANNÉE ET NUMÉRO DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
	1988			
88-002	5–19 avr.	B. Sanderson, université Memorial	Nord-est de Terre-Neuve, baie de Conception	Océanographie biologique, sort de la prolifération printanière de plancton
88-009	2 mai	J.-G. Dessureault, DSPC	Plate-forme néo-écossaise	Essai des engins de récupération du DOLPHIN
88-012	9 mai–22 juill. 3–30 août 30 août–30 sept.	V. Gaudet, SHC G. Henderson, SHC B. MacLean, CGA	Baie de Fundy, Nord-ouest de Terre-Neuve, Labrador, est de l'Arctique, détroit de Melville	Cartes marines courantes, levé de géophysique, sédimentologie, stratigraphie
88-037	30 sept.–20 oct.	C. Ross, DSPC	Détroit de Davis, passage Scott	Océanographie physique, relevés CTD, microbiologie à proximité des émissions naturelles de pétrole, trappes à sédiments, mouillage d'instruments

88-039	26 oct.–29 nov.	G. Henderson, SHC J. Woodside, CGA	Plate-forme néo-écossaise	Cartes marines courantes, observations géophysiques
	1989			
88-043	19 janv.–18 mars	A. Clarke, DSPC mer du Groenland	Mer de Norvège et relevés CTD, Étude internationale de la mer du Groenland	Océanographie physique, Batfish
89-003	18 avril–18 mai	T. Platt, DSB	Atlantique nord	Productivité primaire, expérience commune sur le flux océanique global
89-008	29 mai–23 juin	H. Josenhans, CGA R. Parrot, CGA	Golfe du Saint-Laurent, plate-forme néo-écossaise	Levés de géophysique, étude sismique à haute résolution
89-014	14–19 juill.	B. Long, INRS	Lac Melville, Labrador	Levés de géophysique, photographie sous-marine, balayage latéral des, sédiments, cartes bathymétriques, projet ADFEX
89-017	10 juill.–6 oct.	D. Blasey, SHC	Mer du Labrador	Cartes marines courantes, observations géologiques, récupération d'instruments mouillés
89-031	16 oct.–11 nov.	G. Rockwell, SHC B. Longcarevic, CGA	Plate-forme néo-écossaise	Cartes marines courantes, observations géologiques

N.S.C. *DAWSON*

• Le N.S.C. *Dawson* est un navire à propulsion diesel conçu et utilisé pour la recherche océanographique multidisciplinaire, les levés hydrographiques et la manipulation des batteries d'instruments mouillées en eau profonde et sur les hauts-fonds. Il appartient au MPO et est exploité par la Région de Scotia-Fundy du Ministère.

• Caractéristiques principales – Construit en 1967... 64,5 m de longueur... 12,2 m de largeur... 4,6 m de tirant d'eau... 1,5 m du franc-bord au pont de travail... 2 007 tonnes de déplacement... 1 311 tonnes de jauge brute... vitesse maximale de 14 noeuds... vitesse de croisière de 10 noeuds... autonomie de 45 jours... distance franchissable de 11 000 milles marins à la vitesse de croisière... équipe scientifique de 13 personnes... 87,3 m² de superficie dans quatre laboratoires... local d'informatique... deux hélices et propulseur d'étrave pour le maintien de la position... une vedette hydrographique.

• En 1988, 204 jours en mer et 26 801 milles marins parcourus.

• En 1989, 163 jours en mer et 23 201 milles marins parcourus.

ANNÉE ET NUMÉRO DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
	1988			
88-003	7–19 avril	E. Levy, DSPC	Banc Georges, plate-forme néo-écossaise	Étude des hydr... ...tures comme nutriments des pêcheries
88-007	25–30 avril	G. Drapeau, INRS	Golfe du Saint-Laurent, Îles de la Madeleine	Levés de géophysique dans la zone littorale

88-008	1–16 mai	J. Syvitski, CGA	Golfe du Saint-Laurent	Levés de géophysique, sédimentation, études sismiques, carottage
88-015	19–27 mai	J. McRuer, DSB	Banc Browns	Campagne d'évaluation de l'aiglefin juvénile et de l'ichtyoplancton
88-017	31 mai–3 juin	J. Loder, DSPC	Banc Georges	Océanographie physique, mélange horizontal et vertical, études du front de marées
88-019	8–21 juin	A. Herman, DSPC	Bassin Émeraude, Banquereau	Productivité primaire et secondaire des bassins profonds, pêche comparative avec le N.S.C. *Alfred Needler*
88-023	23 juin–14 juill.	N. Oakey, DSPC	Banc Georges	Océanographie physique, processus de mélange horizontal et vertical, études du front de marées
88-025	25 juill.–10 août	J. Lazier, DSPC	Mer et plate-forme du Labrador	Océanographie physique, mouillage d'instruments
88-030	12–19 août	M. Choquette, université Laval	Plate-forme du Labrador, de Goose Bay au Lac Melville	Géologie, sédimentation
88-032	21–31 août	A. Aksu, université Memorial	Côte ouest de Terre-Neuve	Géologie, études sismiques sur les hauts-fonds
88-034	6–11 sept.	B. Johnson, université Dalhousie	Plate-forme néo-écossaise	Métaux-traces, particules
88-035	14–25 sept.	J. McRuer, DSB	Grands Bancs de T.-N.	Campagne d'évaluation des larves de capelin et étude du recrutement
88-036	29 sept.–17 oct.	N. Oakey, DSPC	Banc Georges	Océanographie physique, mélange horizontal et vertical
88-038	20–31 oct.	C. Pereira, université Memorial, K. Moran, CGA	Bonnet Flamand Grands Bancs de T.-N.	Géologie
88-040	3–18 nov.	D. McKeown, DSPC	Plate-forme néo-écossaise	Mouillage d'instruments, mouvements du navire, essais du BRUTIV et du PARISS
88-041	25–30 nov.	K. Kranck, DSPC	Baie de Fundy	Études de sédimentation
88-042	3–10 déc.	G. Bugden	Golfe du Saint-Laurent	Prévision des glaces et études climatologiques
	1989			
89-001	4–9 avril	C. Amos, CGA	Banc Georges	Étude géophysique de la stabilité et du transport des sédiments
89-002	16–27 avril	B. Sanderson, université Memorial	Baie de Conception	Océanographie physique et biologique, expérience sur la productivité des eaux océaniques froides
89-005	29 avril– 1 mai	A. Hanfling, DSPC	Grands Bancs de T.-N.	Mouillage et récupération d'instruments, profils T-S
89-006	4–18 mai	G. Fader, AGC	Nord-ouest des Grands Bancs	Étude géophysique de la zone littorale, cartes du substrat rocheux et des dépôts meubles
89-007	20 mai–10 juin	G. Vilks, CGA, C. Rodrigues, univ. de Western Ontario	Golfe du Saint-Laurent	Étude géophysique du substrat rocheux et de la sédimentation
89-010	14–29 juin	D. McKeown, DSPC	Plate-forme néo-écossaise	Essais de véhicule télécommandé
89-021	4–9 juill.	B. Johnson, université Dalhousie	Plate-forme néo-écossaise	Particules
89-016	25 juill.– 3 août	C. Fitzpatrick, DSB.	Plate-forme du Labrador	Levés océanographiques annuels

89-024	15–21 sept.	J. McRuer, DSB	Grands Bancs de T.-N.	Campagne d'évaluation et étude du recrutement des larves de capelan
89-028	21 sept.–4 oct.	C. Ross, DSPC	Détroit de Davis	Océanographie physique, mouillage et récupération d'instruments
89-029	7–22 oct.	A. Herman	Plate-forme néo-écossaise	Productivité primaire et secondaire des bassins profonds
89-032	27 oct.–8 nov.	B. Sanderson, université Memorial	Baie de Conception	Océanographie physique et biologique
89-034	10–11 nov.	P. Yeats, DSPC	Atlantique nord	Distribution des contaminants métalliques

LADY HAMMOND

• Le *Lady Hammond*, chalutier transformé, appartient à la Northlakes Shipping Ltd. et est affrété par le ministère des Pêches et des Océans spécifiquement pour la recherche halieutique. Il est exploité par la Région de Scotia-Fundy du MPO, essentiellement pour le compte de la Direction des sciences biologiques, qui possède des installations à l'IOB, à Halifax, ainsi qu'à St. Andrews, au Nouveau-Brunswick.

• Caractéristiques principales – Construit en 1972... 57,9 m de longueur... 11 m de largeur... 4,8 m de tirant d'eau... 2,5 m du franc-bord au pont de travail... 897 tonnes de jauge brute... vitesse maximale de 15 noeuds... vitesse de croisière de 12,5 noeuds... autonomie de 30 jours... distance franchissable de 8 000 milles marins à la vitesse de croisière.

• En 1988, 167 jours en mer et 23 198 milles marins parcourus.

• En 1989, 174 jours en mer et 24 585 milles marins parcourus.

ANNÉE ET NUMÉRO DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
	1988			
88-H183	5–16 avril	J. Sochasky, DSB	Banc Georges	Collecte d'aiglefin vivant à des fins d'expérience de croissance
88-H184	19 avr.–5 mai	E. Dawe, DSB, Région de T.-N.	Baie de Conception	Campagne d'évaluation du crabe, photographie sous-marine et chalutage
88-H185	6–20 mai	B. Nakashima, DSB, Région de T.-N.	Grands Bancs de T.-N.	Marquage du capelan, étude d'habitudes alimentaires
88-H186	Annulée			Réparations imprévues
88-H187	Annulée			Réparations imprévues
88-H188	23–30 juin	K. Waiwood, DSB	Plate-forme néo-écossaise, Le Gully	Collecte de flétan vivant à des fins d'expériences d'aquiculture
88-H189	5–21 juill.	I. Perry, DSB	Banc Georges	Étude de l'ichthyoplancton sur le front de marées

88-H190	26 juill.–17 août	E. Laberge, DSB, Région de Québec	Golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation du sébaste au chalut
88-H191	22 août–2 sept.	G. Harding, DSB	Banc Georges	Distribution verticale des larves de homard
88-H192	5–30 sept.	G. Chouinard, L. Currie, DSB, Région du Golfe	Sud du golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation du poisson de fond au chalut
88-H193	3–20 oct.	J. Tremblay, DSB	Banc Georges, sud-ouest de Nouvelle-Écosse	Campagne d'évaluation des larves de pétoncle
88-H194	28 oct.–11 nov.	M. Power, DSB	Banc Georges, Banc Browns	Surveillance de la résurgence de stock de hareng du banc Georges
88-H195	15 nov.–3 dec.	J. McRuer, DSB	Grands Bancs de T.-N.	Campagne d'évaluation et étude du recrutement des larves de capelan
	1989			
89-H196	2–12 mai	B. Nakashima, DSB, Région de T.-N.	Baie de Conception, Division 3L de l'OPANO	Marquage du capelan
89-H197	13–23 mai	E. Dawe, DSB, Région de T.-N.	Baie de Conception	Campagne d'évaluation du crabe des neiges et essai d'engins
89-H198	24 mai–4 juin	D. Taylor, BSB, Région de T.-N.	Baie de Conception	Campagne d'évaluation du crabe des neiges
89-H199	5–11 juin	J. Martell, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Inventaire du ver du phoque
89-H200	20–29 juin	Y. Delafontaine, DSB, Région du Québec	Golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation des larves de sébaste
89-H201	1–10 juill.	K. Waiwood, DSB	Plate-forme néo-écossaise, Le Gully	Collecte de flétan vivant
89-H202	12–30 juill.	G. Harding, DSB	Banc Georges	Campagne d'évaluation des larves de homard, étude du front de marées
89-H203	14 août–3 sept.	E. Laberge, DSB, Région du Québec	Golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation du sébaste au chalut
89-H204	3–26 sept.	G. Chouinard, R. Tallman, DSB, Région du Golfe	Sud du golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation du poisson de fond au chalut
89-H205	28 sept.–9 oct.	J. Martell, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Campagne d'évaluation du ver du phoque
89-H206	11–21 oct.	P. Perley, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Campagne d'évaluation du poisson juvénile au chalut with C.S.S. *Dawson*
89-H207	24 oct.–9 nov.	M. Power, DSB	Banc Georges, Banc Browns	Surveillance de la résurgence du stock de hareng du banc Georges
89-H208	13–27 nov.	A. Fraser, DSB	Grands Bancs de T.-N.	Campagne d'évaluation et étude du recrutement des larves de capelan
89-H209	2–12 dec.	G. Chouinard, DSB, Région du Golfe	Sud du golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation du poisson de fond au chalut

N.S.C. *J. L. HART*

• Le N.S.C. *J. L. Hart* est un chalutier arrière à coque d'acier qui sert, à la recherche halieutique, notamment à des opérations de chalutage léger (de fond et semi-pélagique), à des campagnes d'évaluation de l'ichtyoplancton, à l'échantillonnage océanographique et à l'essai de matériel scientifique. Il appartient au MPO et est exploité par la Région de Scotia-Fundy du Ministère. Basé à la station biologique de St. Andrews, au Nouveau-Brunwick, il évolue principalement dans les eaux locales, soit dans les baies de Passamaquoddy et de Fundy.

• Caractéristiques principales – Construit en 1974... 19,8 m de longueur... 6,1 m de largeur... 3,65 m de tirant d'eau... 109 tonnes de déplacement... 89,5 tonnes de jauge brute... vitesse maximale de 10 noeuds... vitesse de croisière de 8,5 noeuds... autonomie de 7,5 jours... distance franchissable de 2 000 milles marins à la vitesse de croisière... équipe scientifique de trois personnes.

• En 1988, 79 jours en mer et 5 357 milles marins parcourus.

• En 1989, 105 jours en mer et 9 642 milles marins parcourus.

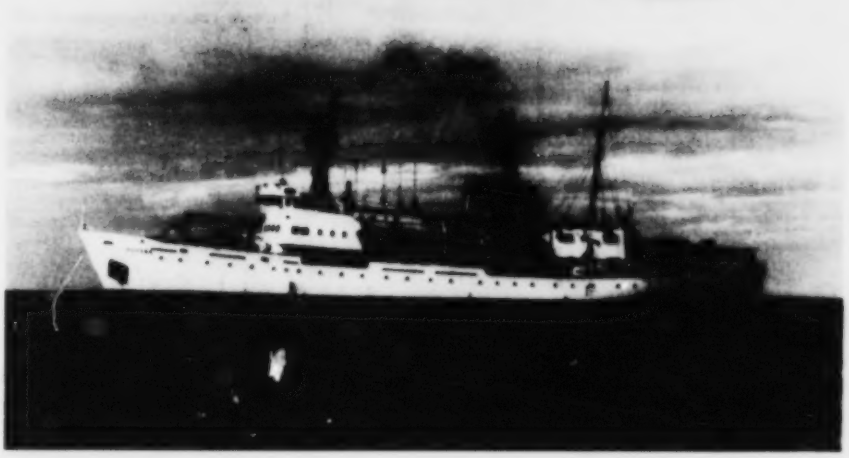
ANNÉE ET NUMÉRO DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
	1988			
88-J049	16 mai	J. Gordon, DSB	Baie de Fundy	Collecte de hareng
88-J050	24 mai–10 juin	J. Gordon, DSB	Baie de Fundy, golfe du Maine	Campagne d'évaluation du hareng juvénile, étude canado-américaine
88-J051	27 juin–1 juill.	S. Poynton, DSB	Cap Chebucto	Collecte de poisson vivant
88-J052	2–9 juill.	D. Cairns, DSB, Région du Golfe	Sud du golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation du hareng juvénile
88-J053	10–21 juill.	J. Murphy, DSB, Région du Golfe	Sud du golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation de la morue juvénile
88-J054	27 juill.	K. Waiwood, DSB	Baie de Fundy	Collecte de flétan vivant
88-J055	29 juill.	P. Perley, DSPC	Baie de Fundy	Collecte de poisson vivant
88-J056	2 août	D. Wildish, DSB	Baie de Fundy	Surveillance des phytotoxines
88-J057	4–8 août	R. Chandler, DSB	Baie de Fundy	Campagne d'évaluation du pétoncle
88-J058	9 août	K. Waiwood, DSB	Baie de Fundy	Collecte de poisson vivant
88-J059	11 août	R. Chandler, DSB	Baie de Fundy	Campagne d'évaluation du pétoncle
88-J060	22–25 et 31 août	R. Stephenson, DSB	Baie de Fundy	Campagne d'évaluation du hareng
88-J061	6 et 13 sept.	R. Chandler, DSB	Baie de Fundy	Campagne d'évaluation du pétoncle
88-J062	20–27 sept.	R. Chandler, DSB	Baie de Fundy	Campagne d'évaluation du pétoncle
88-J063	29 sept.	R. Chandler, DSB	Baie de Fundy	Campagne d'évaluation du pétoncle
88-J064	30 sept. et 7 oct.	D. Aiken, DSB	Baie de Fundy	Collecte de pétoncles
88-J065	11–13 oct.	D. Wildish, DSB	Baie de Fundy	Surveillance des phytotoxines

88-J066	17–18 oct.	R. Chandler, DSB	Baie de Fundy	Campagne d'évaluation du pétoncle
	1989			
89-J067	27 fév.–1 mars	U. Buerkle, DSB	Baie de Fundy	Étude acoustique du hareng
89-J068	2–26 mai	K. Howes, DSB	Baie de Fundy	Collecte de flétan vivant
89-J069	30 mai–15 juin	D. Gordon, DSB	Baie de Fundy, golfe du Maine	Distribution du hareng juvénile
89-J070	19–29 juin	M. Lundy, DSB	Baie de Fundy, au large de Digby	Campagne d'évaluation du pétoncle
89-J071	4–14 juin	S. Robinson, DSB	Baie de Fundy	Campagne d'évaluation du pétoncle
89-J072	19 juill.–9 août	K. Waiwood, DSB	Baie de Fundy	Collecte de flétan vivant
89-J073	21–25 août	R. Stephenson, DSB	Baie de Fundy	Collecte de hareng et campagne d'évaluation aux fascines
89-J074	28 août–2 sept.	J. Porter, DSB	Baie de Fundy	Observation des pêcheries d'espadon et de thon
89-J075	5–8 sept.	D. Wildish, DSB	Baie de Fundy	Échantillonnage de l'eau et carottage à proximité des cages d'élevage du saumon
89-J076	11–15 sept.	J. Martin, DSB	Baie de Fundy	Étude des phytotoxines
89-J077	18 sept.–3 oct.	S. Robinson, DSB	Grand Manan	Campagne d'évaluation du pétoncle
89-J078	5 oct.	D. Wildish, DSB	Baie de Fundy	Échantillonnage des phytotoxines
89-J079	10–27 oct.	K. Waiwood, DSB	Baie de Fundy	Collecte de flétan vivant
89-J080	30 oct.–3 nov.	S. Robinson, DSB	Grand Manan	Campagne d'évaluation du pétoncle, observations à la caméra sous-marine, et essais d'engins

N.S.C. *HUDSON*

• Le N.S.C. *Hudson* est un navire à propulsion diesel-électrique conçu et utilisé pour des activités pluridiciplinaires de recherche océanologique. Il appartient au MPO et est exploité par la Région de Scotia-Fundy du Ministère. Il est couramment utilisé par le Centre géoscientifique de l'Atlantique, du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources.

• Caractéristiques principales – Navire de classe Lloyds Ice I... Construit en 1962... 90,4 m de longueur... 15,2 m de largeur... 6,3 m de tirant d'eau... 4 847 tonnes de déplacement... 3 721 tonnes de jauge brute... vitesse maximale de 17 noeuds... vitesse de croisière de 13 noeuds... autonomie de 80 jours... distance franchissable de 23 000 milles marins à la vitesse de croisière... équipe scientifique de 31 personnes... 205 m² de superficie dans quatre laboratoires... système informatique... plate-forme et hangar à hélicoptère... deux hélices et propulseur d'étrave pour le maintien de la position... quatre vedettes.



• En 1988, 140 jours en mer et 17 588 milles marins parcourus.

• En 1989, 63 jours en mer et 9 801 milles marins parcourus.

ANNÉE ET NUMÉRO DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
	1988			
88-001	19 apr.–3 mai	R. Hendry, DSPC	Atlantique nord, sud des Grands Bancs de T.-N.	Océanographie physique, distribution des métaux, mouillage d'instruments
88-010	24 mai–9 juin	D. Piper, CGA	Talus de la plate-forme néo-écossaise	Levés de géophysique, études sismiques, et carottage
88-014	5–20 avril	T. Platt, DSB	Plate-forme de Labrador, détroit de Belle Isle, plate-forme néo-écossaise	Processus de production primaire et secondaire, données réelles de terrain pour la télédétection
88-020	15–28 juin	B. Loncarevic, CGA	Plate-forme néo-écossaise	Exploration géologique d'un cratère d'origine météorique possible
88-022	30 juin–20 juill.	I. Reid, CGA	Golfe du Saint-Laurent	Levés de géophysique, structure des couches inférieures de la croûte terrestre
88-024	21 juill.–10 août	K. Louden, université Dalhousie	Mer du Labrador	Levés de géophysique, structure de la croûte terrestre, flux de chaleur géothermique
88-026	15 août–21 sept.	T. Platt, DSB	Banc Georges, mer de Sargasses	Océanographie biologique sur le front de marés, migration verticale du zooplancton, et flux de carbone
88-029	22–26 sept.	S. Grant, SHC	Bassin de Bedford	Essais de la carte électronique
	1989			
	26 sept. 1989 – 2 janvier 1990	Division des services maritimes	Chantier naval de St. John's	Carénage de mi-vie

N.S.C. *NAVICULA*

• Le N.S.C. *Navicula* est un bateau de pêche à coque de bois appartenant au MPO. Il est exploité par la Région de Scotia-Fundy du Ministère qui l'utilise pour la recherche en océanographie biologique.

• Caractéristiques principales – Construit en 1968... 19,8 m de longueur... 5,85 m de largeur... 3,25 m de tirant d'eau... 104 tonnes de déplacement... 78 tonnes de jauge brute... vitesse maximale de 10 noeuds... vitesse de croisière de 9 noeuds... autonomie de 8 à 10 heures... distance franchissable de 1 000 milles marins à la vitesse de croisière.

• En 1988, 144 jours en mer et 8 209 milles marins parcourus.

• En 1989, 141 jours en mer et 8 695 milles marins parcourus.

ANNÉE ET NUMÉRO DE L'EX-PÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
	1988			
88-005	19–25 avril 6–8 et 22–27 juill. 6–12 et 20 sept. 5–7 oct. 26 oct.–11 nov.	G. Harding, DSB	Anse Ballantyne, baie St. Georges, sud du golfe du Saint-Laurent	Énchantillonnage des organochlorés, concentrations de polluants dans les précipitations de pluies et absorption de ces polluants par les espèces marines
88-006	26–29 avril 27–30 août	V. Vignier, DSPC	Port de Sydney	Surveillance de la pollution, océanographie physique et biologique, hydrocarbures, HAP, métaux, particules en suspension
88-016	24–25 mai	S. Poynton, DSB	Cap Chebucto	Collecte de poisson vivant
88-018	28 mai–15 juin 27 juin–5 juill. 9–22 juill. 5–24 août 25 sept.–4 oct. 8–14 oct.	R. Miller, G. Fader, D. Forbes, B. Taylor, CGA	De Halifax au Cap St. Mary, détroit de Northumberland, sud-ouest de T.-N., île du Cap-Breton	Géologie des dépôts meubles et cartographie de la zone littorale à l'aide de techniques sismiques, de carottes et de prélèvements, appui au projet de lien fixe avec l'Î.-P.-É., exploration de minéraux et d'aggrégats
88-028	13–19 sept. 21–24 sept.	D. Clay, DSB, région du golfe	Golfe du Saint-Laurent	Étude de la distribution du poisson de fond
	1989			
89-009	29 mai–28 juin	R. Miller, CGA	Port de Halifax, baie de Fundy	Géologie des dépôts meubles à l'aide de techniques sismiques en appui au projet de nettoyage du port de Halifax
89-011	11–16 mai 3–12 août 21–26 oct.	V. Vignier, J. Singh, DSPC	Port de Sydney	Surveillance de la pollution, échantillons plies rouge, hydrocarbures, HAP, métaux particules en suspension
89-012	1–2 dec.	J. Buckland-Nicks, université St. Francis Xavier	Indian Harbour	Collecte d'*Aplacophora*

89-013	5–13 juill.	T. Landry, DSB, région du golfe	Baie de Miramichi, baie St. Georges	Campagne d'évaluation du ver du phoque
89-015	14 juill.–2 août	H. Dupuis, DSB, région du golfe	Sud du golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation de la morue et du hareng juvéniles
89-019	2 nov.	R. Addison, DSPC	Anse Herring, port de Halifax	Merlu argenté et flets vivants
89-020	21–28 août	D. Marcogliese, DSB	Côte est, Cap-Breton Bras d'Or	Recherche benthique de larves du ver de phoque
89-040	30 août–14 sept.	M. Lanteigne, DSB, région du golfe	Détroit de Belle Isle	Campagne d'évaluation du pétoncle
89-026	20 sept.–20 oct.	J. Shaw, CGA	Côte sud de Terre-Neuve	Géologie et cartographie des dépôts meubles, carottage, et études sismiques

ALFRED NEEDLER

• Le *Alfred Needler* est un chalutier arrière à propulsion diesel qui appartient au MPO. Il est exploité par la Région de Scotia-Fundy du Ministère qui l'utilise pour la recherche halieutique, y compris les études acoustiques, la recherche sur l'écologie des poissons juvéniles et les études de recrutement.

• Caractéristiques principales – Construit en 1982... 50,3 m de longueur... 11 m de largeur... 4,9 m de tirant d'eau... 2,5 m du franc-bord au pont de travail... 877 tonnes de déplacement... 925 tonnes de jauge brute... vitesse maximale de 13,5 noeuds... vitesse de croisière de 12 noeuds... autonomie de 30 jours... distance franchissable de 3 000 milles marins à la vitesse de croisière... équipe scientifique de 10 personnes... systèmes informatiques modernes, électronique, aides à la navigation, matériel de recherche et engins de pêche.

• En 1988, 235 jours en mer et 32 515 milles marins parcourus.

• En 1989, 211 jours en mer et 26 038 milles marins parcourus.

ANNÉE ET NUMÉRO DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
	1988			
87-N094	7–27 jan.	C. Dickson, DSB	Baie de Chedabucto	Campagne d'évaluation acoustique du hareng
87-N095	1–8 fév.	M. Showell, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Formation des observateurs internationaux
87-N096	10 et 15–26 fév.	R. Halliday, DSB	Plate-forme néo-écossaise et talus de la plate-forme	Chalutage en eaux profondes et en eaux mésopélagiques
88-N097	29 fév.–14 mars	S. Smith, DSB	Banc Georges	Campagne d'évaluation du poisson de fond au chalut
88-N098	22–30 mars	J. Hunt, DSB	Est de la plate-forme néo-écossaise	Campagne d'évaluation du poisson de fond au chalut
88-N099	5–14 avril	Y. Simard, DSB, région du Québec	Golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation du poisson de fond au chalut

88-N100	18–28 avril	W. Hickey, Div du Dévelop. des pêches	Plate-forme néo-écossaise	Comparaison des mailles carrées et des mailles en losange
88-N101	3–13 mai	W. Smith, DSB	Est de la plate-forme néo-écossaise	Marquage de l'aiglefin
88-N102	16–26 mai	P. Ouellet, DSB, région du Québec	Golfe du Saint-Laurent	Étude de la larve de la crevette
88-N103	31 mai–10 juin	C. Annand, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Campagne d'évaluation de la goberge
88-N104	13–28 juin	J. Neilson, DSB	Banc Georges	Campagne d'évaluation de la morue et de l'aiglefin juvéniles avec le N.S.C. *Dawson*
88-N105	4–13 juill.	P. Koeller, DSB	Ouest de la plate-forme néo-écossaise, baie de Fundy	Campagne d'évaluation du poisson de fond au chalut, observations au SCANMAR
88-N106	18–27 juill.	S. Smith, DSB	Est de la plate-forme néo-écossaise	Campagne d'évaluation du poisson de fond au chalut
88-N107	15 août–8 sept.	C. Hudon, DSB, région du Québec	Détroit d'Hudson	Océanographie biologique, campagne d'évaluation de la crevette
88-N108	12–29 sept.	R. Parrot, CGA	Passe du Bonnet Flamand, plate-forme néo-écossaise	Géologie
88-N109	4–13 oct.	P. Hurley, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Campagne d'évaluation du sébaste au chalut
88-N110	17–27 oct.	R. Halliday, DSB	Talus de la plate-forme néo-écossaise	Chalutage en eaux profondes et en eaux mésopélagiques
88-N111	31 oct.–24 nov.	D. Cairns, DSB, Région du Golfe	Sud du golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation acoustique du hareng
	1989			
89-N112	29 nov.–9 dec.	C. Dale, DSB	Talus de la plate-forme néo-écossaise	Chalutage en eaux profondes et en eaux mésopélagiques
89-N113	6–26 jan.	C. Dickson, DSB	Baie de Chedabucto	Campagne d'évaluation acoustique du hareng
89-N114	3–6 jan.	M. Showell, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Formation des observateurs internationaux
89-N115	10–16 fév.	J. Martell, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Inventaire du ver du phoque
89-N116	22 fév.–7 mars	S. Smith, DSB	Banc Georges	Campagne d'évaluation du poisson de fond au chalut
89-N117	13–21 mars	P. Fanning, DSB	Est de la plate-forme néo-écossaise	Campagne d'évaluation du poisson de fond au chalut
89-N118	Annulée en raison des glaces			
89-N119	11–21 avril	C. Dale, DSB	Talus de la plate-forme néo-écossaise	Chalutage en eaux profondes et en eaux mésopélagiques
89-N120	5–14 mai	W. Smith, DSB	Est de la plate-forme néo-écossaise	Marquage de l'aiglefin
89-N121	18 mai–2 juin	I McRuer, DSB	Banc de Brown	Campagne d'évaluation de la morue et du hareng juvéniles, campagne d'évaluation de l'ichtyoplancton
89-N122	5–15 juin	C. Dale, DSB	Talus de la plate-forme néo-écossaise	Chalutage en eaux profondes et en eaux mésopélagiques
89-N123	4–16 juill.	P. Koeller, DÉLTM	Ouest de la plate-forme néo-écossaise et baie de Fundy	Campagne d'évaluation du poisson de fond au chalut, observations au SCANMAR
89-N124	18–27 juill.	S. Smith, DSB	Est de la plate-forme néo-écossaise	Campagne d'évaluation du poisson de fond au chalut
89-N125	29 juill.–8 août	Y. Delafontaine	Golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation de l'ichtyoplancton (sébaste)

89-N126	9–18 août	R. Halliday, DSB	Talus de la plate-forme néo-écossaise	Chalutage en eaux profondes et en eaux mésopélagiques
89-N127	3–14 sept.	D. Gascon, DSB, région du Québec	Golfe du Saint-Laurent	Essais d'engin de pêche du sébaste et de la crevette, pêche comparative
89-N128	27 sept.–5 oct.	W. Hickey, Div. du Dévelop. des pêches	Plate-forme néo-écossaise	Comparaisons entre mailles carrées et mailles en losange
89-N129	1–12 nov.	D. Cairns, DSB, Moncton	Sud du golfe du Saint-Laurent	Campagnes d'évaluation acoustique du hareng
89-N130	19–21 déc.	P. Koeller, DÉLTM	Plate-forme néo-écossaise	Essais d'instruments résistant au chalut et observations de chalut au SCANMAR

E.E. PRINCE

• Le *E.E. Prince* est un chalutier arrière servant à la recherche halieutique, notamment à la pêche exploratoire et expérimentale ainsi qu'à l'évaluation des ressources. Il appartient au MPO et est exploité par la Région de Scotia-Fundy du Ministère.

• Caractéristiques principales – Construit en 1966... 39,6 m de longueur... 8,2 m de largeur... 3,65 m de tirant d'eau... 0,7 m du franc-bord au pont de travail... 580 tonnes de déplacement... 406 tonnes de jauge brute... vitesse maximale de 10,5 noeuds... vitesse de croisière de 10 noeuds... autonomie de 14 jours... distance franchissable de 3 000 milles marins à la vitesse de croisière.

• En 1988, 202 jours en mer et 23 973 milles marins parcourus.

• En 1989, 169 jours en mer et 19 373 milles marins parcourus.

ANNÉE ET NUMÉRO DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
	1988			
87-P363	14–24 mars	L. Dickie, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Études acoustiques du poisson de fond, essais des systèmes ECOLOG II et BRUTIV
88-P364	13–15 avril 26–27 avril	M. Lewis, DSB	Bassins de la plate-forme néo-écossaise	Collecte de plancton
88-P365	28–29 avril	V. Marryatt, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Collecte de morue vivante
88-P366	4–11 mai	M. Etter, DSB	Est de la plate-forme néo-écossaise	Campagne d'évaluation de la crevette au chalut
88-P367	16–27 mai	M. Lundy, DSB	Plate-forme néo-écossaise, banc Georges	Campagne d'évaluation du pétoncle à la drague
88-P368	30 mai–17 juin	R. Dufour, DSB, région du Québec	Golfe du Saint-Laurent	Campagne de marquage du crabe

88-P369	17 juin–6 juill.	M. Castonguay, DSB, région du Québec	Sud du golfe du Saint-Laurent, baie de Sydney	Campagne d'évaluation des oeufs de maquereau
88-P370	11–22 juill.	T. Rowell, DSB	Est de la plate-forme néo-écossaise	Marquage de palourdes, étude benthique
88-P371	25 juill.–11 août	G. Robert, DSB	Banc Georges	Campagne d'évaluation du pétoncle
88-P372	17 août–1 sept.	W. Hickey, Div. du Dévelop. des pêches	Plate-forme néo-écossaise	Comparaison des mailles carrées et des mailles en losange
88-P373	6–16 sept.	D. Pezzack, DSB	Banc Georges	Marquage et évaluation du homard de haute mer
88-P374	19–29 sept.	M. Etter, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Campagne d'évaluation de la crevette au chalut
88-P375	3 oct. 4 oct.	S. Poynton, DSB M. Power, DSB	Plate-forme néo-écossaise Plate-forme néo-écossaise	Collecte de morue vivante Essais d'engin de récolte du plancton
88-P376	6–21 oct.	W. Hickey, Div. du Dévelop. des pêches	Plate-forme néo-écossaise	Comparaison des mailles carrées et des mailles en losange
88-P377	24 oct.–10 nov.	J. Sochasky, DSB	Baie de Fundy, golfe du Maine	Campagne d'évaluation des larves du hareng
88-P378	14 nov.	S. Poynton, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Collecte de morue vivante
88-P379	15–23 nov.	J. Martell, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Inventaire benthique et inventaire du ver du phoque
88-P380	29 nov.–16 dec.	M. Chadwick, DSB	Golfe du Saint-Laurent	Hareng juvénile
88-P381	11–18 mars	L. Dickie, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Étude acoustique du poisson de fond, essais du système ECOLOG II
	1989			
89-P382	11–18 avril	D. Robichaud, DSB	Baie de Fundy	Campagne de marquage du homard et étude de la distribution du homard
89-P383	24 avril–4 mai	W. Hickey, Dev. du Dévelop. des pêches	Plate-forme néo-écossaise, banc Georges	Comparaison des culs-de-chalut à mailles carrées et à mailles en losange
89-P384	15–25 mai	M. Lundy, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Campagne d'évaluation du pétoncle
89-P385	29 mai–8 juin	T. Rowell, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Campagne d'évaluation de la palourde de haute mer, études de la production benthique
89-P386	19 juin–6 juill.	M. Castonguay, DSB, région du Québec	Golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation des oeufs de maquereau
89-P387	31 juill.–31 août	G. Robert/ M. Lundy, DSB	Banc Georges	Campagne d'évaluation du pétoncle
89-P388	5–15 sept.	W. Hickey, Div. du Dévelop. des pêches	Plate-forme néo-écossaise	Essais de chalut à crevette
89-P389	28 sept.–1 oct.	P. Boudreau, DSB	Plate-forme néo-écossaise, quai de l'IOB	Essais acoustiques du système ECOLOG II
89-P390	10–18 oct.	W. Hickey, Div. du Dévelop. des pêches	Plate-forme néo-écossaise	Étude de sélectivité des culs-de-chalut à mailles en losange
89-P391	24 oct.–9 nov.	J. Sochasky, DSB	Baie de Fundy, banc de Brown	Campagne d'évaluation des larves de hareng
89-P392	13 nov.–4 déc.	I. McQuinn, DSB, région du Québec	Nord du golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation acoustique du hareng
89-P393	7–20 déc. (annulée)	H. Dupuis, DSB, région du Golfe	Sud du golfe du Saint-Laurent	Campagne d'évaluation acoustique du hareng

N.S.C. *F.C.G. SMITH*

• Le catamaran *F.C.G. Smith* a effectué son voyage inaugural en 1986. Il appartient au MPO et est exploité par la Région de Scotia-Fundy du Ministère. Il sert principalement au Service hydrographique du Canada pour réaliser des balayages acoustiques dans les zones côtières des provinces Maritimes.

• Caractéristiques principales – Construit en 1985... 34,8 m de longueur... 14 m de largeur... 4 m de largeur par coque... 2,1 m de tirant d'eau... 1,3 m du franc-bord au pont de travail... 370 tonnes de déplacement... vitesse maximale de 12 noeuds... vitesse de croisière de 10 noeuds... autonomie de 7 jours... équipe scientifique de quatre personnes... transducteurs faisant partie d'un système de balayage intégré, pilotage automatique et positionnement au laser... traitement des données à bord... jusqu'à 500 000 mesures de la profondeur par jour.

• En 1988, 109 jours en mer et 4 894 milles marins parcourus.

• En 1989, 89 jours en mer et 4 342 milles marins parcourus.

ANNÉE ET NUMÉRO DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
	1988			
88-004	11–22 avril	S. Grant, SHC	Port de Halifax et bassin de Bedford	Essais de la carte électronique
88-011	3 mai–22 juill. 24 sept.–28 oct.	D. Blaney, SHC	De Sheet Harbour au bassin d'Annapolis; ports de Halifax, de Pictou, de Canso et de Caraquet	Levés hydrographiques courants de divers ports et endroits côtiers
88-027	8 août–16 sept.	N. Doucet, SHC, région du Québec	Rive nord du golfe du Saint-Laurent	Levés hydrographiques courants avec le N.S.C. *Louis M. Lauzier*
	1989			
89-004	7 mai–30 juin 23 juill.–5 sept. 23 oct.–3 nov.	G. Henderson, SHC	Côte de la Nouvelle-Écosse et du Cap-Breton	Levés hydrographiques courants
89-018	5 sept.–23 oct.	R. Sanfaçon, SHC, région du Québec	Golfe du Saint-Laurent	Levés hydrographiques courants : échange avec le N.S.C. *Louis M. Lauzier*

PARTICIPATION À D'AUTRES MISSIONS DE RECHERCHE

• En 1988 et 1989, un certain nombre d'organismes scientifiques de la Région de Scotia-Fundy et le Centre géoscientifique de l'Atlantique ont participé aux missions suivantes à bord de navires non exploités par le MPO, notamment dans le cadre de travaux de recherche en collaboration avec d'autres pays :

NAVIRE / PAYS	DATES	PARTICIPANTS CANADIENS	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
	1988			
Skogafoss (Islande)	Mars, juin, sept., déc.	F. Dobson, DSPC	Atlantique nord, cap Race (T.-N.), Reykjavik, Islande	Profils au bathythermographe à sonde perdue afin de définir la structure thermique des couches supérieures de l'océan
Somerset (R.-U.)	25 avril–9 mai	B. Topliss, DSPC	Côte de l'Angleterre	Collecte et réalités de terrain de données de télédétection
Columbus Iselin (É.-U.)	3–14 août	K. Kranck, DSPC T. Milligan, DSPC	Plate-forme amazonienne	Projet AmasSeds, études des sédiments
N.G.C.C. *Nahidik* (Canada)	Sept.	J. Lewis, CGA J. Hunter, CGA	Mer de Beaufort	Levés de géophysique
N.G.C.C. *Narwhal* (Canada)	12–19 sept.	H. Josenhans, CGA	Baie de Hudson	Études sismiques pluridisciplinaires à haute résolution
N.G.C.C. *John A. MacDonald* (Canada)	12 août–22 sept.	E.J. Comeau, SHC	Fjord Griese, passage Resolute et baie Allen, île South Bathurst (Arctique)	Cartes hydrographiques
Pholas (Canada)	1 sept.–17 oct.	K. Moran, CGA	Grands Bancs de T.-N.	Propriétés géotechniques des couches inférieures du site de forage Hibernia
Saulkrasty (U.R.S.S.)	17 oct.–28 nov.	C. Bourbonnais, DSB M. Showell, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Campagne d'évaluation du merlu argenté juvénile
N.S.C. *Louis M. Lauzier* (Canada)	8 août–16 sept.	V.J. Gaudet, DSPC	Côte nord-ouest de Terre-Neuve	Cartes hydrographiques, échange avec le N.S.C. *F.C.G. Smith*
	1989			
Casanice (France)	25 déc.–9 jan.	D. Piper, CGA	Nice, France	Examen d'un glissement de terrain sous-marin
Skogafoss (Islande)	Mars, juin, sept., déc.	F. Dobson, DSPC	Atlantique nord, cap Race (T.-N.), Reykjavik, Islande	Profils au bathythermographe à sonde perdue afin de définir la structure thermique des couches supérieures de l'océan
N.C.S.M. *Cormorant* (Canada)	21–22 avril 27–28 avril	D. Forbes, CGA	Côte de la Nouvelle-Écosse	Observations de la distribution des sédiments au moyen d'un sous-marin porte-plongeur
N.C.S.M. *Cormorant* (Canada)	7–16 sept.	S. Blasco, CGA	Détroit de Barrow	Observations de l'affouillement par les icebergs au moyen d'un sous-marin porte-plongeur
N.G.C.C. *Nahidik* (Canada)	29 août–21 sept.	S. Blasco, CGA	Mer de Beaufort	Programme répétitif de cartes de l'affouillement par les icebergs
N.S.C. *Louis M. Lauzier* (Canada)	5 sept.–22 oct.	G. Henderson, SHC	Baie de Bonavista (T.-N.)	Cartes hydrographiques, échange avec le N.S.C. *F.C.G. Smith*
Maltsevo (U.R.S.S.)	17 oct.–28 nov.	C. Bourbonnais, DSB M. Showell, DSB P. Comeau, DSB	Plate-forme néo-écossaise	Campagne d'évaluation du merlu argenté juvénile

Cartes et publications

Production de cartes

Le bureau de la Région de Scotia-Fundy du Service hydrographique du Canada (SHC) possède un effectif de 23 cartographes chargés d'établir 406 cartes marines couvrant la côte est du Canada, du banc Georges au détroit du Prince-de-Galles, dans l'Arctique.

Les cartes produites par le SHC se répartissent en trois catégories. Une «nouvelle carte» est la première carte qui représente une région à une échelle donnée ou qui couvre une zone différente de celles qui sont représentées par les cartes existantes. Ce type de carte a maintenant une nouvelle présentation, avec isobathes suivant le système métrique et bilingue. Une «nouvelle édition» est une version d'une carte déjà existante qui présente des données nouvelles et les modifications rendues publiques dans les *Avis aux navigateurs*. Quant aux «réimpressions», il s'agit de la reprise d'une édition existante qui intègre les modifications rendues publiques dans les *Avis aux navigateurs*. Les réimpressions des cartes marines de la Région de Scotia-Fundy sont produites par l'Administration centrale du SHC, à Ottawa.

Outre les nouvelles cartes et les nouvelles éditions énumérées ci-dessous, le SHC publie chaque année une centaine de modifications de cartes et une quinzaine d'annexes graphiques par le biais des *Avis aux navigateurs*.

1988

Nouvelles cartes (à l'interne)

4841 De cap St. Mary à Argentia
4909 Ports de l'extrémité ouest du détroit de Northumberland

Nouvelles cartes (à contrat)

4117 Saint John et ses approches
4905 De cap Tormentine à la pointe West
4906 De la pointe West à la baie de Tracadie

Nouvelles cartes (compilées à l'interne, mais réalisées à contrat)

5049 Anse de Davis aux îles Seniartlit

Nouvelles éditions (compilées à l'interne, mais réalisées à contrat)

4419 Port de Souris et ses approches
4483 Port de Caribou
8006 Plate-forme néo-écossaise, du banc de Brown au banc Émeraude
8007 De Halifax à l'île de Sable, y compris le banc Émeraude et l'île de Sable

Nouvelles éditions (compilées à l'interne, mais réalisées à contrat)

4529 Port de Fogo, anse Seal et leurs approches

1989

Nouvelles cartes (à l'interne)

4235 De l'île Barren à la pointe Taylor
4849 Plans de la baie de Conception, de la baie de Trinity et du port de Bonavista
4920 Plans : baie des Chaleurs, côte sud
7485 De la baie de Parry au chenal Navy
7486 Du chenal Navy à Fury et au détroit de Hecla

Nouvelles cartes (à contrat)

4911 Entrée de la rivière Miramichi
4912 Miramichi

Nouvelles cartes (compilées à l'interne, mais réalisées à contrat)

4240 Du port de Liverpool au port de Lockeport
4266 Port de Sydney
4846 De la baie de Motion au cap St. Francis
4853 Partie nord de la baie de Trinity

Nouvelles éditions (à l'interne)

4201 Port de Halifax, bassin de Bedford
4845 Port de Renews à la baie de Motion
7511 Passage Resolute

Nouvelles éditions (compilées à l'interne, mais réalisées à contrat)

4842 Du cap Pine au cap St. Mary
7050 De l'île Resolution au cap Mercy

Nouvelles éditions (compilées à l'interne, mais réalisées à contrat)

4047 Du banc de St. Pierre au banc de la Baleine
4617 De l'île Red à la pointe Pinchgut
4618 Fond de la baie de Plaisance
4620 Come By Chance
4622 Du cap St. Mary au port d'Argentia et à l'île Jude

Publications

Voici, par ordre alphabétique de leurs auteurs, la liste des publications produites en 1988 et 1989 par le personnel du ministère des Pêches et des Océans (MPO), du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources (EMR) et du ministère de l'Environnement (MDE) à l'IOB ainsi que par le personnel du MPO au Laboratoire de recherche halieutique de Halifax et à la Station biologique de St. Andrews. Les articles publiés dans les revues scientifiques et hydrographiques, les monographies, les actes des congrès et diverses séries de rapports techniques sont compris dans cette liste. Le style et la présentation des références sont établis par leur service d'origine. Pour obtenir de plus amples renseignements sur ces publications, veuillez communiquer avec la Division de l'évaluation et de la liaison, travaux maritimes, Institut océanographique de Bedford, C.P. 1006, Dartmouth (Nouvelle-Écosse), Canada B2Y 4A2, ou téléphoner au (902) 426-3559.

BUREAU DU DIRECTEUR RÉGIONAL DES SCIENCES 1988 ET 1989

CAMPANA, S., K. FRANK, P. HURLEY, P. KOELLER, F. PAGE, and P. SMITH. 1989. Survival and abundance of young cod and haddock as indicators of yearclass strength. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):171-182.

KOELLER, P.A., L. COATES-MARKLE, and J.D. NEILSON. 1989. Feeding ecology of juvenile (O-group) silver hake (*Merluccius bilinearis*) on the Scotian Shelf. J. Fish. Aquat. Sci. 46:1762-1768.

NICHOLLS, H.B. (ed.). 1989. Investigations of Marine Environmental Quality in Halifax Harbour. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1693:v+43p.

NICHOLLS, H.B. 1989. Research Advice in Support of Fish Habitat Impact Issues in the Coastal Zone. p. 988-995. In: O.T. Magoon, H. Converse, D. Miner, L.T. Tobin, and D. Clark (eds.). Coastal Zone '89: Proc. of the 6th Symp. on Coastal and Ocean Management. American Soc. Civil Engineers 1, NY.

RICE, J.C., C. MORRY, T. SEPHTON, G. SEIBERT, S.N. MESSIEH, B.T. HARGRAVE, and R.D. ALEXANDER. 1989. A review of DFO concerns regarding possible impacts of a fixed-link crossing of Northumberland Strait. CAFSAC Res. Doc. 89/16:44 p.

SEIBERT, G.H., and B. EID. 1989. Vertical Structure of Tidal Currents in Northumberland Strait. (Abstract) Workshop/Symp. on "The Gulf of St. Lawrence: Small Ocean or Big Estuary?", Maurice Lamontagne Institute, Mont-Joli, Quebec, March 14-17, 1989.

SEIBERT, G.H., C.M. MORTON, and A. ISNOR. 1989. Ice Dynamics in Northumberland Strait. (Poster) Workshop/Symp. on "The Gulf of St. Lawrence: Small Ocean or Big Estuary?", Maurice Lamontagne Institute, Mont-Joli, Quebec, March 14-17, 1989.

DIRECTION DE L'HYDROGRAPHIE

1988

BURKE, R.G., S.R. FORBES, and K.T. WHITE. 1988. The C.S.S. *F.C.G. Smith*—A New and Unique Vessel for the Canadian Hydrographic Service. Proc. of the 11th Int. Hydrographic Conference, Boston, MA, Oct. 1988.

BURKE, R.G., S.R. FORBES, and K.T. WHITE. 1988. Processing large data sets from 100% bottom coverage shallow water sweep surveys: a new challenge for the Canadian Hydrographic Service. Int. Hydrographic Rev. 65(2):75-89.

O'REILLY, C.T. 1988. Vertical Tidal Datum Control for the Joint American/Canadian Hydrographic Survey of Passamaquoddy Bay/Grand Manan Channel. p. 124-132. Proc. 1988 ACSM-ASPRS Fall Convention, Virginia Beach, VA, Sept. 11-16.

1989

GREGORY, D.N., G.C. NADEAU, and D. LEFAIVRE. 1989. Current Statistics of the Gulf of St. Lawrence and Estuary. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 120:v+170p.

O'REILLY, C.T., S.T. GRANT, and G.O. STIEVEN. 1989. The Development of a Permanent Tide Gauge for Remote Areas. p. 208-213. Proc. Canadian Hydrographic Conference, Vancouver, B.C., March 6-10, 1989.

DIRECTION DES SCIENCES BIOLOGIQUES

Division de l'écologie de l'habitat

1988

BRODIE, P.F. 1988. The Family Monodontidae. In: S.H. Ridgway and Sir R. Harrison (eds.). Handbook of Marine Mammals, Vol. 4. Academic Press, London.

CRANFORD, P.J. 1988. Behaviour and ecological importance of a mud snail (*Hydrobia ulvae*) population in a temperate microtidal estuary. Can. J. Zool. 66:459-466.

GORDON, D.C. (ed.). 1988. An assessment of the possible environmental impacts of exploratory drilling on Georges Bank fisheries resources. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1633:iv+31p.

HARDING, G.C., and R.W. TRITES. 1988. Dispersal of *Homarus americanus* larvae in the Gulf of Maine from Browns Bank. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45(1):416-425.

HARGRAVE, B.T., W.P. VASS, P.E. ERICKSON, and B.R. FOWLER. 1988. Supply of atmospheric organochlorines to food webs in the Arctic Ocean. Tellus 40B:480-493.

JOHNSON, C.R., and K.H. MANN. 1988. Diversity, patterns of adaptation and stability of Nova Scotian kelp beds. Ecol. Monogr. 58:129-154.

KERR, S.R., and R.A. RYDER. 1988. The applicability of fish yield indices in freshwater and marine ecosystems. Limnol. Oceanogr. 33(4, part 2):973-981.

LONGHURST, A.R., T. PLATT, W.G. HARRISON, E.J.H. HEAD, A.W. HERMAN, E. HORNE, R.J. CONOVER, W.K.W. LI, D.V. SUBBA RAO, D. SAMECTO, J.C. SMITH, and R.E.H. SMITH. 1988. Biological oceanography in the Canadian high Arctic. J. Cons. Int. Explor. Mer 188:91-98.

MACKENZIE, B. 1988. Assessment of temperature effects on interrelationships between stage duration, mortality, and growth in laboratory-reared *Homarus americanus* Milne-Edwards larvae. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 116:87-98.

MANN, K.H. 1988. Towards predictive models for coastal marine ecosystems, p. 291-316. In: L.R. Pomeroy and J.J. Alberts (eds.). Concepts of Ecosystem Ecology: A Comparative View. Springer-Verlag, NY.

MESSIEH, S.N. 1988. Spawning bed surveys in the southern Gulf of St. Lawrence, p. 55-63. In: E.M. Chadwick (ed.). Herring fishermen and biologists: Their role in stock assessment. Can. Ind. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 183.

MESSIEH, S.N., and M. EL-SABH. 1988. Man-made environmental changes in the southern Gulf of St. Lawrence and their possible impact on inshore fisheries. p. 499-523. In: Natural and Man-Made Hazards. D. Reidel Publ., Amsterdam.

MESSIEH, S.N. 1988. Spawning of Atlantic herring in the Gulf of St. Lawrence. Amer. Fish. Soc. Symp. 5:31-48.

PLATT, T., D.V. SUBBA RAO, and B. IRWIN. 1987. Photosynthesis by picoplankton in the Lago di Faro, Messina, Sicily. Prof. S. Genovese Memorial Volume. Mem. Biol. Mar. Oceanogr. 15:61-70.

PROUSE, N.J., T.W. ROWELL, P. WOO, J.E. UTHE, R.F. ADDISON, D.H. LORING, R.T. RANTALA, M.E. ZINCK, and D.L. PEER. 1988. Annapolis Basin soft-shell clam (*Mya arenaria*) mortality study: A summary of field and laboratory investigations. Can. MS Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1987:viii+19 p.

SILVERT, W.L. 1988. BSIM Beginners' Guide. Internal DFO document:4 p.

SILVERT, W.L. 1988. BSIM Cookbook Supplement for MS-DOS. Internal DFO document:4 p.

SILVERT, W.L. 1988. Introduction to BSIM. Internal DFO document:7 p.

SILVERT, W.L. 1988. The BSIM Cookbook. Internal DFO document:14 p.

SILVERT, W.L. 1988. BSIM Users' Guide, Ver. 88. Internal DFO document:14 p.

SILVERT, W.L. 1988. BSIM Installation Manual. Internal DFO document:5 p.

SILVERT, W.L. 1988. BSIM Programmers' Manual. Internal DFO document:i+17 p.

SILVERT, W.L. 1988. BSIM Porting Guide. Internal DFO document:14 p.

SILVERT, W.L. 1988. BSIM Newsletter. Internal DFO document:5 p.

SILVERT, W. 1988. Generic models of continental shelf ecosystems. p. 153-161. In: W. Wolff, C.-J. Soeder, and F.R. Drepper (eds.). Ecodynamics: Contributions to theoretical ecology. Springer-Verlag.

SILVERT, W., and R.J.M. CRAWFORD. 1988. The periodic replacement of one fish stock by another. p. 161-180. In: T. Wyatt and M.G. Larraneta (eds.). Proc. of the Symp. on Long-Term Changes in Marine Fish Populations, Vigo, Spain.

SUBBA RAO, D.V., M.A. QUILLIAM, and R. POCKLINGTON. 1988. Domoic acid—a neurotoxic amino acid produced by the marine diatom *Nitzschia pungens* in culture. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:1-4.

SUBBA RAO, D.V., and D. SAMEOTO. 1988. Relationship between phytoplankton and copepods in the deep tropical Pacific Ocean off Costa Rica. Bull. Mar. Sci. 42:85-100.

SUBBA RAO, D.V., P.M. DICKIE, and W.P. VASS. 1988. Toxic phytoplankton blooms in the Eastern Canadian Atlantic embayments. Int. Counc. Explor. Sea C.M. 1988/L:28.

SUBBA RAO, D.V. 1988. Species-specific primary production measurements of arctic phytoplankton. Brit. Phycol. J. 23:273-282.

VASS, W.P. 1988. Modified Tucker trawl for lobster larval studies. Lobster Newsletter 1(1):6-7.

YUEN, K.B., P.D. KEIZER, W.L. LOCKHART, C.D. MCALLISTER, R.J. PATERSON, and J.F.PAYNE. 1988. A review of hydrocarbon research and monitoring programs in the Department of Fisheries and Oceans. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1684:vii+130 p.

1989

ADDISON, R.F., and J.E. STEWART. 1989. Domoic acid and the eastern Canadian molluscan shellfish industry. Aquacult. 77:263-269.

BATES, S.S., C.J. BIRD, A.S.W. DEFREITAS, R. FOXALL, M. GILGAN, L.A. HANIC, G.R. JOHNSON, A.W. MCCULLOCH, P. ODENSE, R. POCKLINGTON, M.A. QUILLIAM, P.G. SIM, J.C. SMITH, D.V. SUBBA RAO, E.C.D. TODD, J.A. WALTER, and J.L.C. WRIGHT. 1989. Pennate diatom *Nitzschia pungens* as the primary source of domoic acid, a toxin in shellfish from eastern Prince Edward Island, Canada. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46(7):1203-1215.

BIDLEMAN, T.F., G.W. PATTON, M.D. WALLA, B.T. HARGRAVE, W.P. VASS, P. ERICKSON, B. FOWLER, V. SCOTT, and D.J. GREGOR. 1989. Toxaphenes and other

organochlorines in Arctic Ocean fauna: Evidence for atmospheric delivery. Arctic 42:307-313.

BOUDREAU, P.R. 1989. Distributional patterns in demersal fish: Effects on food intake and catch rate. Masters Thesis, Dalhousie University, Halifax, N.S.:78 p.

BOUDREAU, P.R., and L.M. DICKIE. 1989. Biological model of fisheries production based on physiological and ecological scalings of body size. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:614-623.

BRODIE, P.F. 1989. The white whale *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776). p. 119-145. In: S.H. Ridgway and Sir R.H. Harrison (eds.). Handbook of Marine Mammals, Vol. 4. Academic Press.

BUCKLEY, D., and B.T. HARGRAVE. 1989. Geochemical characteristics of surface sediments, p. 4-31. In: H.B. Nicholls (ed.). Investigations of marine environmental quality in Halifax Harbour. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1693.

BUCKLEY, D., B.T. HARGRAVE, and P. MURDOCH. 1989. Geochemical data from analyses of surface sediments obtained from Halifax Inlet. Geol. Surv. Can., Open File Rpt. 2042, Vols. 1 and 2.

CRANFORD, P.J., D.C. GORDON, JR., and C.M. JARVIS. 1989. Measurement of cordgrass, *Spartina alterniflora*, production in a macrotidal estuary, Bay of Fundy. Estuaries 12:27-34.

FIELD, J.G., F. WULFF, and K.H. MANN. 1989. The need to analyze ecological networks. p. 3-14. In: F. Wulff, J.G. Field, and K.H. Mann (eds.). Network Analysis in Marine Ecology: Methods and Applications. Springer-Verlag, Berlin.

GORDON, D.C., JR. (ed.) 1989. Report of the Department of Fisheries and Oceans LRTAP Workshop, Nov. 15-17, 1988, Dartmouth, N.S.. DFO Internal Rpt.:150 p.

GRANT, J., and P.J. CRANFORD. 1989. The effect of laboratory diet conditioning on tissue and gonad growth in the sea scallop *Placopecten magellanicus*. p. 95-105. In: J.S. Ryland and P.A. Tyler (eds.). Reproduction, Genetics and Distribution of Marine Organisms. Olsen and Olsen Fredensborg, Denmark.

HARDING, G.C., and R.W. TRITES. 1989. A further elaboration on "Dispersal of *Homarus americanus* Larvae in the Gulf of Maine from Browns Bank," in response to comments by D.S. Pezzack. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46(6):1078-1082.

HARGRAVE, B.T., and G.A. PHILLIPS. 1989. Decay times of organic carbon in sedimented detritus in a macrotidal estuary. Mar. Ecol. Prog. Ser. 56:271-279.

HARGRAVE, B.T., B. VON BODUNGEN, R.J. CONOVER, A.J. FRASER, G.A. PHILLIPS, and W.P. VASS. 1989. Seasonal changes in sedimentation of particulate matter and lipid content of zooplankton collected by sediment trap in the Arctic Ocean off Axel Heiberg Island. Polar Biol. 9:467-475.

HARGRAVE, B.T., W.P. VASS, P.E. ERICKSON, and B.R. FOWLER. 1989. Distribution of chlorinated hydrocarbon pesticides and PCBs in the Arctic Ocean. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1644:ix+224 p.

HARGRAVE, B.T., and D.L. PEER. 1989. Benthic biological observations. p. 32-40. In: H.B. Nicholls (ed.). Investigations of marine environmental quality in Halifax Harbour. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1693.

HARGRAVE, B.T., and D.J. LAWRENCE. 1989. Bibliography of Halifax Harbour and Bedford Basin. p. 72-87. In: H.B. Nicholls (ed.). Investigations of marine environmental quality in Halifax Harbour. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1693.

JUMARS, P.A., A.V. ALTENBACH, G.J. DE LANGE, S.R. EMERSON, B.T. HARGRAVE, P.J. MULLER, F.G. PRAHL, C.E. REIMERS, T. STEIGER, and E. SUESS. 1989. Transformation of seafloor-arriving fluxes into the sedimentary record. p. 291-311. In: W.H. Berger, V.S. Smetacek, and G. Wefer (eds.). Productivity of the Oceans: Present and Past. Dalhem Konferenzen, John Wiley and Sons, NY.

KEIZER, P.D., B.T. HARGRAVE, and D.C. GORDON, JR. 1989. Sediment-water exchange of dissolved nutrients at an intertidal site in the upper reaches of the Bay of Fundy. Estuaries 12:1-12.

KERR, S.R., and R.A. RYDER. 1989. Current approaches to multispecies analyses of marine fisheries. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46(2):528-534.

KERR, S.R. 1989. The switch to size. Review of D. Pauly and G.R. Morgan (eds.). 1987. Length-based methods in fisheries research. ICLARM Env. Biol. Fishes 24:157-159.

LAMBERT, T.C., and S.N. MESSIEH. 1989. Spawning dynamics of Gulf of St. Lawrence herring. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46(10):2085-2094.

LAZIER, J.R.N., and K.H. MANN. 1989. Turbulence and the diffusive layers around small organisms. Deep Sea Res. 36:1721-1733.

MANN, K.H., J.G. FIELD, and F. WULFF. 1989. Network analysis in marine ecology: An assessment. p. 259-282. In: F. Wulff, J.G. Field, and K.H. Mann (eds.). Network Analysis in Marine Ecology: Methods and Applications. Springer-Verlag, Berlin.

MESSIEH, S.N. 1989. Changes in the Gulf of St. Lawrence herring populations in the past three decades. Northw. Atl. Fish. Org. SCR Doc. 89/74, Ser. Nº N1655:47 p.

MESSIEH, S.N. 1989. Human-induced damage to coastal marine ecosystems. p. 4806-4816. In: O.T. Magoon, H. Converse, D. Miner, L.T. Tobin, and D. Clark (eds.). Coastal Zone '89: Proc. of the Sixth Symp. on Coastal and Ocean Management. American Soc. Civil Engineers 1, NY.

MESSIEH, S.N., C. MACDOUGALL, and R. CLAYTOR. 1989. Separation of Atlantic herring (Clupea harengus) stocks in the southern Gulf of St. Lawrence using digitized otolith morphometrics and discriminant function analysis. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1647:iv+22 p.

MESSIEH, S.N., and H. ROSENTHAL. 1989. Mass mortality of herring eggs on spawning beds on and near Fisherman's Bank, Gulf of St. Lawrence, Canada. Aquat. Living Resour. 2:1-8.

MUSCHENHEIM, D.K., P.E. KEPKAY, and K. KRANCK. 1989. Microbial growth in turbulent suspension and its relation to marine aggregate formation. Neth. J. Sea Res. 23:283-292.

PATTON, G.W., D.A. HINCKLEY, M.D. WALLA, T.F. BIDLEMAN, and B.T. HARGRAVE. 1989. Airborne organochlorines in the Canadian High Arctic. Tellus 41B:243-255.

RICE, J.C., C. MORRY, T. SEPHTON, G. SEIBERT, S.N. MESSIEH, B.T. HARGRAVE, and R.D. ALEXANDER. 1989. A review of DFO concerns regarding possible impacts of a fixed-link crossing of Northumberland Strait. CAFSAC Res. Doc. 89/16:44 p.

ROWELL, T.W. 1989. Soft-shell Clam Enhancement Project Summary. Presented to the Scotia-Fundy Clam Development Working Group, Jan. 1989:8 p.

ROWELL, T.W. 1989. Predation of the nemertean *Cerebratulus lacteus* on the soft-shell clam *Mya arenaria*. (Poster) Presented at the 24th European Marine Biological Symp., Oct. 4-10, 1989, Oban, Scotland.

RYDER, R.A., and S.R. KERR. 1989. Environmental priorities: Placing habitat in hierarchic perspective. p. 2-12. In: C.D. Levings, L.B. Holtby, and M.A. Henderson (eds.). Proc. of the National Workshop on Effects of Habitat Alteration on Salmonid Stocks, May 6-8, 1987, Nanaimo, B.C. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 105.

SILVERT, W.L. 1989. BSIM cookbook supplement for UNIX. Internal DFO Rpt.:5 p.

SILVERT, W.L. 1989. BSIM programmer's manual. Internal DFO Rpt.:20 p.

SILVERT, W.L. 1989. BSIM cookbook supplement for the Atari ST. Internal DFO Rpt.:4 p.

SILVERT, W.L. 1989. BSIM cookbook supplement for MS-DOS. Internal DFO Rpt.:10 p.

SILVERT, W.L. 1989. Introduction to BSIM. Internal DFO Rpt.:8 p.

SILVERT, W.L. 1989. Modelling as a research tool. p. 49-53. In: A.T. Charles and G.N. White III (eds.). Proc. of the Interdisciplinary Conference on Natural Resource Modelling and Analysis. Centre for Resource Systems Analysis, Halifax, N.S.

SILVERT, W.L. 1989. Modelling for managers. Ecol. Model. 47:53-64.

SILVERT, W.L. 1989. BSIM cookbook supplement for the Macintosh. Internal DFO Rpt.:5 p.

SILVERT, W.L. 1989. The BSIM cookbook. Internal DFO Rpt.:22 p.

STOKOE, P.K., P.A. LANE, R.P. COTÉ, and J.A. WRIGHT. 1989. Evaluation of holistic marine ecosystem modelling as a potential tool in environmental impact assessment. Unpubl. MS Report:178 p.

WULFF, F., J.G. FIELD, and K.H. MANN (ed.) 1989. Network Analysis in Marine Ecology: Methods and Applications:284 p. Springer-Verlag, Berlin.

Division de l'océanographie biologique
1988

CONOVER, R.J., A.W. BEDO, and J.A. SPRY. 1988. Arctic zooplankton prefer living ice algae: a caution for zooplankton excretion measurements. J. Plankt. Res. 10:267-282.

CONOVER, R.J., A.W. BEDO, A.W. HERMAN, E.J.H. HEAD, L.R. HARRIS, and E.P.W. HORNE. 1988. Never trust a copepod—some observations on their behavior in the Canadian Arctic. J. Mar. Sci. 43:650-662.

CONOVER, R.J. 1988. Comparative life histories in the general Calanus and Neocalanus in high latitudes of the northern hemisphere. Hydrobiologia 167/168:127-142.

HARRISON, W.G., and L.J.E. WOOD. 1988. Inorganic nitrogen uptake by marine picoplankton: Evidence for size partitioning. Limnol. Oceanogr. 33(3):468-475.

HEAD, E.J.H. 1988. Copepod feeding behaviour and the measurement of grazing rates *in vivo* and *in vitro*. Hydrobiologia 167/168:31-41.

HEAD, E.J.H., A. BEDO, and L.R. HARRIS. 1988. Grazing, defecation and excretion rates of copepods from some inter-island channels of the Canadian Arctic archipelago. Mar. Biol. 99:333-340.

IRWIN, B., P. DICKIE, M. HODGSON, and T. PLATT. 1988. Primary production and nutrients on the Labrador Shelf, in Hudson Strait and Hudson Bay in August and September 1982. Can. Data. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 692:iv+139 p.

IRWIN, B., J. ANNING, C. CAVERHILL, R. ESCRIBANO, and T. PLATT. 1988. Carbon and oxygen primary production in Bedford Basin from January to April 1986. Can. Data. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 719:iv+34 p.

IRWIN, B., W.G. HARRISON, J. ANNING, C. CAVERHILL, P. DICKIE, and T. PLATT. 1988. Phytoplankton production and distribution on the Grand Banks of Newfoundland in September 1985. Can. Data. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 691:iv+82 p.

IRWIN, B., C. CAVERHILL, M. HODGSON, W.G. HARRISON, T. PLATT, R. PALMER, and M. LEWIS. 1988. Inorganic nutrient and chlorophyll concentrations on Georges Bank in July and August 1985. Can. Data. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 689:iv+70 p.

IRWIN, B., C. CAVERHILL, T. PLATT, I. JOINT, and M. FASHAM. 1988. Primary production in the Celtic Sea in May and June 1986. Can. Data. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 718:iv+241 p.

IRWIN, B., C. CAVERHILL, J. ANNING, D. MOSSMAN, and T. PLATT. 1988. Carbon and oxygen primary production in Bedford Basin, Nova Scotia, from March to June 1985. Can. Data. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 686:iv+135 p.

KEPKAY, P.E., and B.D. JOHNSON. 1988. Microbial response to organic particle generation by surface coagulation in seawater. Mar. Ecol. Prog. Ser. 48:193-198.

LAL, D., Y. CHUNG, T. PLATT, and T. LEE. 1988. Twin cosmogenic radiotracer studies of phosphorus recycling and chemical fluxes in the upper ocean. Limnol. Oceanogr. 33(6, part 2):1559-1567.

LEWIS, M.R., O. ULLOA, and T. PLATT. 1988. Photosynthetic action, absorption, and quantum yield spectra for a natural population of oscillatoria in the North Atlantic. Limnol. Oceanogr. 33(1):92-98.

LEWIS, M.K., and D. SAMEOTO. 1988. The vertical distribution of zooplankton and ichthyoplankton on the Nova Scotia Slope—April 1983. Can. Data Rpt. Fish. Aquat. Sci. 682:iv+46 p.

LEWIS, M.K., and D. SAMEOTO. 1988. The vertical distribution of zooplankton and ichthyoplankton on the Nova Scotia Shelf—October 1981. Can. Data Rpt. Fish. Aquat. Sci. 684:iv+106p.

LEWIS, M.K. and D. SAMEOTO. 1988. The vertical distribution of zooplankton and ichthyoplankton on the Nova Scotia Shelf—April 1984. Can. Data Rpt. Fish. Aquat. Sci. 717:iv+64p.

LI, W.K.W., and A.M. WOOD. 1988. Vertical distribution of North Atlantic ultraphytoplankton: analysis by flow cytometry and epifluorescence microscopy. Deep Sea Res. 35:1615-1638.

LI, W.K.W. 1988. Analysis of phytoplankton autofluorescence and size by flow cytometry. Cdn. Res. 21:18-22.

LONGHURST, A.R. 1988. Interannual variability in marine communities. In: The Indo-Pacific Convergence, IOC Workshop Report 47:68-72.

LONGHURST, A.R., and W.G. HARRISON. 1988. Vertical nitrogen flux from the oceanic photic zone by diel migrant zooplankton and nekton. Deep Sea Res. 35(6):881-889.

LONGHURST, A.R., T. PLATT, W.G. HARRISON, E.J.H. HEAD, A.W. HERMAN, E. HORNE, R.J. CONOVER, W.K.W. LI, D.V. SUBBA RAO, D. SAMEOTO, J.C. SMITH, and R.E.H. SMITH. 1988. Biological oceanography in the Canadian High Arctic. ICES Symp./Rec. C.J. Cons. Int. Explor. Mer.

MAYZAUD, P., and R.J. CONOVER. 1988. O:N atomic ratio as a tool to describe zooplankton metabolism. Mar. Ecol. Prog. Ser. 45:289-302.

PLATT, T., S. SATHYENDRANATH, C.M. CAVERHILL, and M.R. LEWIS. 1988. Ocean primary production and available light: further algorithms for remote sensing. Deep Sea Res. 35(6):855-879.

PLATT, T., and S. SATHYENDRANATH. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales. Science 241:1613-1620.

SAMEOTO, D.D. 1988. The feeding biology of the lantern fish, *Benthosema glaciale*, off the Nova Scotia coast. Mar. Ecol. Prog. Ser. 44:133-129.

SATHYENDRANATH, S., and T. PLATT. 1988. The spectral irradiance field at the surface and in the interior of the ocean: a model for applications in oceanography and remote sensing. J. Geo. Res. 93(C8):9270-9280.

VEZINA, A.F., and T. PLATT. 1988. Food web dynamics in the ocean. Part I. Best-estimates of flow networks using inverse methods. Mar. Ecol. Prog. Ser. 42:269-287.

WHITE III, G.N., and P. MACE. 1988. Models for cooperation and conspiracy in fisheries: Changing the rules of the game. Natural Resource Modeling 2(3):499-530.

WHITE III, G.N. 1988. Models for cooperation and conspiracy in fisheries: Fishing mortality patterns. p. 377-408. In: T.G. Hallam, L.J. Gross, and S.A. Levin (eds.). Proc. of the Autumn Course Research Seminars, Mathematical Ecology. Int. Centre for Theoretical Physics, Miramare-Trieste, Italy. Nov. 24–Dec. 12, 1986. World Scientific Press, Singapore.

1989

CHARLES, A.T., and G.N. WHITE III (eds.). 1989. Natural Resource Modelling and Analysis. Proc. of a Conference held at Saint Mary's University and BIO, Halifax, Canada, 1989. Centre for Resource Systems Analysis, Halifax.

CONOVER, R.J. 1989. Phycological news from ASLO-89. Appl. Phycol. Forum 6(2):7.

COTA, G.F., and E.P.W. HORNE. 1989. Physical control of arctic ice algal production. Mar. Ecol. Prog. Ser. 52:111-121.

HALLIDAY, R.G., and G.N. WHITE III. 1989. The biological/technical implications of an increase in minimum trawl mesh size for groundfish fisheries in the Scotia-Fundy Region. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1691:x+153 p.

HARGRAVE, B.T., B. VON BODUNGEN, R.J. CONOVER, A.J. FRASER, G. PHILLIPS, and W.P. VASS. 1989. Seasonal changes in sedimentation of particulate matter and lipid content of zooplankton collected by sediment trap in the Arctic Ocean off Axel Heiberg Island. Polar Biol. 9:467-475.

HORNE, E.P.W., J.W. LODER, W.G. HARRISON, R. MOHN, M.R. LEWIS, B. IRWIN, and T. PLATT. 1989. p.148-158. Nitrate supply and demand at the Georges Bank tidal front. In: J.D. Ros (ed.). Topics in Marine Biology 53(2-3). Scientia Marina.

IRWIN, B., C. CAVERHILL, D. MOSSMAN, J. ANNING, E. HORNE, and T. PLATT. 1989. Primary productivity on the Labrador Shelf during July 1985. Can. Data Rpt. Fish. Aquat. Sci. N° 760:iv+119p.

IRWIN, B., J. ANNING, C. CAVERHILL, R. ESCRIBANO, and T. PLATT. 1989. Carbon and oxygen primary production in Bedford Basin from July to September 1986. Can. Data Rpt. Fish. Aquat. Sci. N° 720:iv+32p.

IRWIN, B., C. CAVERHILL, J. ANNING, A. MACDONALD, M. HODGSON, E.P.W. HORNE, and T. PLATT. 1989. Productivity localized around seamounts in the Atlantic (PLASMA) during June and July 1987. Can. Data Rpt. Fish. Aquat. Sci. N° 732:iv+227p.

IRWIN, B., J. ANNING, C. CAVERHILL, A. MACDONALD, and T. PLATT. 1989. Carbon and Oxygen primary production in Bedford Basin from January to June 1987. Can. Data Rpt. Fish. Aquat. Sci. N° 722:iv+35p.

KEPKAY, P.E., and B.D. JOHNSON. 1989. Coagulation on bubbles allows microbial respiration of dissolved organic carbon. Nature, 338:63-65.

LANDE, R., W.K.W. LI, E.P.W. HORNE, and A.M. WOOD. 1989. Phytoplankton growth rates estimated from depth profiles of cell concentration and turbulent diffusion. Deep Sea Res. 36:1141-1159.

LAROCHE, J., and W.G. HARRISON. 1989. Reversible kinetics model for the short-term regulation of methylammonium uptake in two phytoplankton species, *Dunaliella tertiolecta (Chlorophyceae)* and *Phaeodactulum tricornutum (Bacillariophyceae)*. J. Phycol. 25:36-48.

LEWIS, M.K., and D. SAMEOTO. 1989. The vertical distribution of zooplankton and ichthyoplankton on the Nova Scotia Shelf, September-October 1986. Can. Data Rpt. Fish Aquat. Sci. 763:iv+37 p.

LEWIS, M.K., and D. SAMEOTO. 1989. The vertical distribution of zooplankton and ichthyoplankton on the Nova Scotia Shelf, October 1984. Can. Data Rpt. Fish. Aquat. Sci. 731:iv+80 p.

LI, W.K.W. 1989. Shipboard analytical flow cytometry of oceanic ultraphytoplankton. Cytometry 10:564-579.

LI, W.K.W. 1989. Marine creatures small and great. The World & I, 4(2):302-309.

LI, W.K.W. 1989. Logarithmic amplification of optical signals on BIO BD-FACS. Signal & Noise 2:5.

LONGHURST, A.R., and E. HEAD. 1989. Algal production and herbivore demand in Jones Sound, Canadian High Arctic. Polar Biol. 9:281-286.

LONGHURST, A.R., A.W. BEDO, W.G. HARRISON, E.J.H. HEAD, E.P. HORNE, B. IRWIN, and C. MORALES. 1989. NFLUX: a test of vertical nitrogen flux by diel migrant biota. Deep Sea Res. 36:12.

LONGHURST, A.R., T. PLATT, W.G. HARRISON, E.J.H. HEAD, A.W. HERMAN, E. HORNE, R.J. CONOVER, W.K.W. LI, D.V. SUBBA RAO, D. SAMEOTO, J.C. SMITH, and R.E.H. SMITH. 1989. Biological oceanography in the Canadian High Arctic. Rap. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer 188:80-89.

LONGHURST, A.R., and W.G. HARRISON. 1989. The biological pump: profiles of plankton production and consumption in the upper ocean. Progr. Oceanog. 22:47-123.

LONGHURST, A.R. 1989. Pelagic ecology: definition of pathways for energy and material flux. p. 263-288. In: M. Denis (ed.). Océanologie: Actualité et Perspectif. Centre d'Océanologie de Marseille, Marseille.

MUSCHENHEIM, D.K., P.E. KEPKAY, and K. KRANCK. 1989. Microbial growth in turbulent suspension and its relation to marine aggregate formation. Neth. J. Sea Res. 23(3):283-292.

PLATT, T., W.G. HARRISON, M.R. LEWIS, W.K.W. LI, S. SATHYENDRANATH, R.E.H. SMITH, and A.F. VEZINA. 1989. Biological production of the oceans: the case for a consensus. Mar. Ecol. Prog. Ser. 52:77-88.

PLATT, T. 1989. Flow cytometry in oceanography. Chapter 10. In: Optimal Utilization of Flow Cytometry. Alan R. Liss, NY.

SATHYENDRANATH, S., T. PLATT, C.M. CAVERHILL, R.E. WARNOCK, and M.R. LEWIS. 1989. Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model. Deep Sea Res. 36(3):431-453.

SATHYENDRANATH, S., and T. PLATT. 1989. Remote sensing of ocean chlorophyll: Consequence of non-uniform pigment profile. Applied Optics 28(3):490-495.

SATHYENDRANATH, S., and T. PLATT. 1989. Computation of aquatic primary production: Extended formalism to include effect of angular and spectral distribution of light. Limnol. Oceanogr. 34(1):188-198.

SMITH, R.E.H., P. CLEMENT, and E. HEAD. 1989. Biosynthesis and photosynthate allocation patterns of arctic ice algae. Limnol. Oceanogr. 34:591-605.

TOPLISS, B.J., J.R. MILLER, and E.P.W. HORNE. 1989. Ocean optical measurements—II. Statistical analysis of data from Canadian eastern Arctic waters. Cont. Shelf Res. 9(2):133-152.

WHITE III, G.N. 1989. Allocation of catch quotas. p. 290-293. In: A.T. Charles and G.N. White III (eds.). Natural Resource Modelling and Analysis: Proc. of a Conference held at Saint Mary's University and BIO, Halifax, Canada, 1989. Centre for Resource Systems Analysis, Halifax, N.S.

WHITE III, G.N. (ed.). 1989. Report of the JGOFS Working Group on Data Management. BIO, Sept. 27-28, 1988. Scientific Committee on Oceanic Research, Int. C. of Scientific Unions, Halifax, N.S.

Division des poissons de mer 1988

ANNAND, C., D. BEANLANDS, J. MCMILLAN, and R. O'BOYLE. 1988. The Status of the NAFO Divisions 4VWX+Subarea 5 Pollock Resource during 1970-1986 with Yield Projected to 1988. CAFSAC Res. Doc. 87/96.

ANON. 1988. 1987 Japanese Tuna Fishery. IOP Series Management/ Industry Report.

ANON. 1988. 1988 Silver Hake Fishery. IOP Series Management/Industry Report.

ANON. 1988. Cape North Report. IOP Series Management / Industry Report.

ANON. 1988. Faroe Island Porbeagle Shark Fishery. IOP Series Management/Industry Report.

BOUDREAU, P.R., C. ANNAND, and L.M. DICKIE. 1988. Use of Acoustic Density Estimates in Calculating Abundance Estimates of Pollock. CAFSAC Working Paper 87/41.

BOUDREAU, P.R., and L.M. DICKIE. 1988. Use of Dual-Beam Acoustic Survey Results to Estimate Abundance of Pollock. ICES FAST working group, Oostend, Belgium.

BOWEN, W.D. 1988. Sealworm (*Pseudoterranova decipiens*), Grey Seals and Fisheries: A Review. ICES 1988, C.M. 1988/N:6, Session O.

CAMPANA, S.E., S.J. SMITH, and P.C.F. HURLEY. 1988. An Age-Structured Index of Cod Larval Drift and Retention in the Waters off Southwest Nova Scotia. ICES. Early Life History Symp. Paper N° 24:22 p.

CAMPANA, S., and J. SIMON. 1988. Stock Status of 4X Cod in 1987. CAFSAC Res. Doc. 88/26.

CARSCADDEN, J.E., K.T. FRANK, and D.S. MILLER. 1988. Distribution of Capelin (*Mallotus villosus*) in Relation to Physical Features on the Southeast Shoal. NAFO SCR Doc. 88/90. Serial N° N1542:31 p.

CONAN, G.Y., U. BUERKLE, E. WADE, M. CHADWICK, and M. COMEAU. 1988. Geostatistical Analysis of Spatial Distribution in a School of Herring. ICES C.M. 1988/D:21.

DICKIE, L.M., and P.R. BOUDREAU. 1988. Field Measurement of the Target Strength of Gadoid Fish Using a Dual-Beam Echo Sounder. ICES FAST working group, Oostend, Belgium.

FANNING, L.P., S.J. SMITH, K.C.T. ZWANENBURG, and D. BEANLANDS. 1988. Assessment of 4VsW Cod in 1987. CAFSAC Res. Doc. 88/47.

FRANK, K.T. 1988. A Review of Recruitment Related Studies and Relevant Physical Oceanographic Programs Recently Undertaken by DFO in the Newfoundland and Scotia-Fundy Regions. p. 66-115. In: M.M. Sinclair, J. Anderson, M. Chadwick, J. Gagne, W. McKone, J. Rice, and D. Ware (eds.). Report from the National Workshop on Recruitment. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1626.

FRANK, K.T., J.E. CARSCADDEN, and W.C. LEGGETT. 1988. Comparative Analysis of Factors Underlying Retention of Capelin and Flatfish Larvae on the Southern Grand Banks. Cons. Int. Explor. Mer. ICES 1988 ELH, Bergen, Paper N° 107:24 p.

FRANK, K.T., R.I. PERRY, K.F. DRINKWATER, and W.H. LEAR. 1988. Changes in the Fisheries of Atlantic Canada Associated with Global Increases in Atmospheric Carbon Dioxide: A Preliminary Report. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1652:v+52p.

FRANK, K.T. 1988. Independent Distributions of Fish Larvae and Their Prey: Natural Paradox of Sampling Artifact? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:48-59.

GAVARIS, S. 1988. An Adaptive Framework for the Estimation of Population Size. CAFSAC Res. Doc. 89/29.

HALLIDAY, R.G. 1988. Use of Seasonal Spawning Area Closures in the Management of Haddock Fisheries in the Northwest Atlantic. NAFO Sci. Coun. Studies 12:27-36.

HUNT, J.J. 1988. Status of the Georges Bank Cod Stock in 1987. CAFSAC Res. Doc 88/73.

ILES, T.D. 1987. Herring Stocks: Are They Real? In: E.M.P. Chadwick (ed.). Herring Fishermen and Biologists: Their Roles in Stock Assessment. Can. Ind. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 183:3-13.

ILES, T.D. 1987. Bay of Fundy: An Example of Cooperation Between Scientists and Industry. In: E.M.P. Chadwick (ed.). Herring Fishermen and Biologists: Their Roles in Stock Assessment. Can. Ind. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 183:122-127.

MARKLE, D.F., M.J. DADSWELL, and R.G. HALLIDAY. 1988. Demersal Fish and Decapod Crustacean Fauna of the Upper Continental Slope off Nova Scotia from Laccave to St. Pierre Banks. Can. J. Zool. 66:1952-1960.

MCCLELLAND, G., R.K. MISRA, and J. MARTELL. 1988. Geographical Variation and Temporal Trends in Prevalence and Abundance of Larval Sealworm (*Pseudoterranova decipiens*) in the Fillets of American Plaice (*Hippoglossoides platessoides*) in Eastern Canada. Sealworm Workshop, Halifax, N.S., June 1988.

MCCLELLAND, G. 1988. Coccidial Infections (*Emeria phocae*) in Harbour Seals (*Phoca vitulina*) from Sable Island. (Abstract) Fish Health Workshop, Halifax, N.S., 1988.

NEILSON, J.D., and P. PERLEY. 1988. An Update on the Status of the 4VWX Flatfish Stocks. CAFSAC Res. Doc. 88/57:33 p.

NEILSON, J.D., and R.I. PERRY. 1988. Diel Vertical Migrations of Juvenile Fish: An Obligate or Facultative Process? ICES Early Life History Symp. 1988 Paper N° 5:39 p.

NEILSON, J.D., E.M. deBLOIS, and P.C.F. HURLEY. 1988. The Stock Structure of Scotian Shelf Flatfish as Inferred from Examination of Ichthyoplankton Survey Data and Distribution of Mature Females. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:1674-1685.

O'BOYLE, R., K. FRANK, and J. SIMON. 1988. An Evaluation of the Population Dynamics of 4X Haddock during 1962-88 with Yield Projected to 1989. CAFSAC Res. Doc. 88/72.

O'BOYLE, R. 1988. Virtual Population Analysis. In: E.M.P. Chadwick (ed.). Herring Fishermen and Biologists: Their Roles in Stock Assessment. Can. Ind. Rpt. Fish. Aquat. Sci. N° 183:94-106.

PAINE, M.D., W.C. LEGGETT, J.K. MCRUER, and K.T. FRANK. 1988. Effects of Chronic Exposure to the Water-Soluble Fraction (WSF) of Hibernia Crude Oil on Capelin (*Mallotus villosus*) Embryos. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. N° 1627:iv+25 p.

PERRY, R.I., and J.D. NEILSON. 1988. Vertical Distributions and Trophic Interactions of Age-0 Cod and Haddock in Mixed and Stratified Waters. Mar. Ecol. Prog. Ser. 49:199-214.

PERRY, R.I., P. HURLEY, R. LOSIER, R. BRANTON, J. MCRUER, and J. REID. 1988. Report of the Working Group on Fisheries Oceanography. Unpub. Ms. Rpt. MFD Section Heads, BIO, Dartmouth, N.S.:30 p.

PERRY, R.I., J.S. SCOTT, and R.J. LOSIER. 1988. Water Mass Analysis and Groundfish Distributions on the Scotian Shelf, 1979-84. NAFO SCR Doc. 88/81:14 p.

POWER, M.J., and R.L. STEPHENSON. 1988. Logbooks in the Bay of Fundy. p. 71-73. In: E.M.P. Chadwick (ed.). Herring Fishermen and Biologists: Their Role in Stock Assessment. Can. Ind. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 183.

SCOTT, J.S. 1988. Helminth Parasites of Redfish (*Sebastes fasciatus)* from the Scotian Shelf, Bay of Fundy, and Eastern Gulf of Maine. Can. J. Zool. 66(3):617-621.

SINCLAIR, M.M., and T.D. ILES. 1988. Population Richness of Marine Fish Species. Aquat. Living Resour. 1:71-83.

SMITH, S.J. 1988. Abundance Indices from Research Survey Data. p. 16-43. In: D. Rivard (ed.). Collected Papers on Stock Assessment Methods. CAFSAC Res. Doc. 88/61

SMITH, S.J. 1988. Evaluating the Efficiency of the Distribution Mean Estimator. Biometrics 44:485-493.

STEPHENSON, R.L. 1988. Retention of Herring Larvae in the Bay of Fundy: What is the Mechanism? ICES Early Life History Symp. 1988, Paper N° 40:16 p.

STEPHENSON, R.L. 1988. Larval Surveys in the Bay of Fundy. p. 64-65. In: E.M.P. Chadwick (ed.). Herring Fishermen and Biologists: Their Roles in Stock Assessment. Can. Ind. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 183.

STEPHENSON, R.L., and M.J. POWER. 1988. Vertical Migration in Herring Larvae: A Mechanism for Larval Retention? Mar. Ecol. Prog. Ser. 50:3-11.

STEPHENSON, R.L. 1988. Catch Data: Its Importance and Complexities. p. 14-16. In: E.M.P. Chadwick (ed.). Herring Fishermen and Biologists: Their Roles in Stock Assessment. Can. Ind. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 183.

STEPHENSON, R.L., and M.J. POWER. 1988. Biological Update for the 4Vn Herring Fishery. CAFSAC Res. Doc. 88/68:12 p.

STEPHENSON, R.L., and M.J. POWER. 1988. Assessment of the 1987 4WX Herring Fishery. CAFSAC Res. Doc. 88/69:36 p.

STOBO, W.T., J.D. NEILSON, and P.G. SIMPSON. 1988. Movements of Atlantic Halibut (*Hippoglossus hippoglossus)* in the Canadian North Atlantic: Inferences Regarding Life History. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:484-491.

SUTHERS, I.M., and K.T. FRANK. 1988. Dispersal, Growth, and Condition of Juvenile Pelagic Cod (*Gadus morhua)* in Southwestern Nova Scotia, Canada. Cons. Int. Explor. Mer, ICES 1988 ELH, Bergen, Paper N° 83:191 p.

TAGGERT, C.T., K.F. DRINKWATER, K.T. FRANK, J. MCRUER, and P. LAROUCHE. 1988. Larval Fish, Zooplankton Community Structure, and Physical Dynamics at a Tidal Front. Cons. Int. Explor. Mer, ICES 1988 ELH, Bergen, Paper N° 43:24 p.

TOPLISS, B.J., L. PAYZANT, and P.C.F. HURLEY. 1988. Monitoring Offshore Water Quality from Space. p. 1399-1402. Proc. of IGARSS 1988.

WALDRON, D.E., P. FANNING, and C. BOURBONNAIS. 1987. Scotian Shelf Silver Hake Population Size in 1987. NAFO SCR. Doc. 88/51.

WOOD, B., and M.A. SHOWELL. 1988. 1988 Polish Mackerel Fishery. IOP Series Management/ Industry Report.

1989

ANNAND, C., D. BEANLANDS, and J. MCMILLAN. 1989. Assessment of Pollock (Pollachius *virens)*in Divisions 4VWX and Subdivision 5Zc. CAFSAC Res. Doc. 89/56.

ANON. 1989. 1988 Japanese Tuna Fishery. IOP Series Management/ Industry Rpt.

ANON. 1989. 1989 Silver Hake Fishery. IOP Series Management/ Industry Rpt.

BENOIT, D., and W.D. BOWEN. 1989. Quantitative analysis of grey seal summer diets in the Gulf of St. Lawrence. (Abstract) 8th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Monterey, CA.

BOUDREAU, P.R., and L.M. DICKIE. 1989. Biological model of fisheries production based on physiological and ecological scalings of body size. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:614-623.

BOWEN, W.D. 1989. Book review of "Approaches to Marine Mammal Energetics". Amer. Scient. 77:496 p.

BOWEN, W.D., O.T. OFTEDAL, and D. BONESS. 1989. Variation in efficiency of mass transfer in harbour seals over the course of lactation. (Abstract) 8th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Monterey, CA.

BUERKLE, U. 1989. Results of the 1989 winter acoustic surveys of NAFO Div. 4WX herring stocks. CAFSAC Res. Doc. 89/41.

CAMPANA, S.E., and P.C.F. HURLEY. 1989. An age- and temperature-mediated growth model for cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus)* larvae in the Gulf of Maine. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:603-613.

CAMPANA, S.E., S.J. SMITH, and P.C.F. HURLEY. 1989. A drift-retention dichotomy for larval haddock (*Melanogrammus aeglefinus)* spawned on Browns Bank. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):93-102.

CAMPANA, S.E., S.J. SMITH, and P.C.F. HURLEY. 1989. An age-structured index of cod larval drift and retention in the waters off southwest Nova Scotia. Rap. P. -v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer 191:50-62.

CAMPANA, S.E. 1989. Otolith microstructure of three larval gadids in the Gulf of Maine, with inferences on early life history. Can. J. Zool. 67:1401-1410.

CAMPANA, S.E., K.T. FRANK, P.C.F. HURLEY, P.A. KOELLER, F.H. PAGE, and P.C. SMITH. 1989. Survival and abundance of young cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) as indicators of yearclass strength. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):171-182.

CAMPANA, S., and J. HAMEL. 1989. Status of the 4X cod stock in 1988. CAFSAC Res. Doc. 89/30.

CARSCADDEN, J.E., K.T. FRANK, and D.S. MILLER. 1989. Capelin (*Mallotus villosus*) spawning on the Southeast Shoal: Influence of physical factors past and present. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:1743-1754.

CHENOWETH, S.B., D.A. LIBBY, R.L. STEPHENSON, and M.J. POWER. 1989. Origin and dispersion of larval herring (*Clupea harengus*) in coastal waters of eastern Maine and southwestern New Brunswick. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:624-632.

CLAY, D., W.T. STOBO, B. BECK, and P.C.F. HURLEY. 1989. Growth of juvenile pollock (*Pollachius virens* L.) along the Atlantic coast of Canada with inferences of inshore-offshore movement. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 9:37-43.

FANNING, L.P., and W.J. MACEACHERN. 1989. Stock Status of 4VsW cod in 1988. CAFSAC Res. Doc. 89/57:71 p.

FRANK, K.T., F.H. PAGE, and J.K. MCRUER. 1989. Hydrographic effects on the vertical distribution of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) eggs and larvae on the southwestern Scotian Shelf. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):82-92.

FRANK, K.T., and J.K. MCRUER. 1989. Nutritional status of field collected haddock larvae from southwestern Nova Scotia: An assessment based upon morphometric and vertical distribution data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):125-133.

FRANK, K.T., J.E. CARSCADDEN, and W.C. LEGGETT. 1989. Comparative analysis of factors underlying retention of capelin and flatfish larvae on the southern Grand Banks. (Abstract). Rap. P. -v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer 191.

FRANK, K.T., and J.E. CARSCADDEN. 1989. Factors affecting recruitment variability of capelin (*Mallotus villosus*) in the Northwest Atlantic. J. Cons. Int. Explor. Mer. 45:146-164.

GAVARIS, S. 1989. Assessment of eastern Georges Bank haddock. CAFSAC Res. Doc. 89/49:27 p.

GORDON, D.G., J.D. NEILSON, and G. ROBERT. 1989. Georges Bank—research behind the management of habitat and commercial resources. p. 14-18. BIO Review '87.

HALLIDAY, R.G., and G.N. WHITE III. 1989. The biological/technical implications of an increase in minimum trawl mesh size for groundfish fisheries in the Scotia-Fundy Region. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1961:x+153 p.

HALLIDAY, R.G., D.E. HAY, and K.I. METUZALS. 1989. Wastage at sea of American plaice (*Hippoglossoides platessoides [Fabricius])* in the Southern Gulf of St. Lawrence fishery in the 1970s. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1663:vii+36 p.

HORNE, J.K., and S.E. CAMPANA. 1989. Environmental factors influencing the distribution of juvenile groundfish in nearshore habitats of southwestern Nova Scotia. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:1277-1286.

HUNT, J.J. 1989. Results of a silver hake otolith exchange between Canada and the U.S.S.R. NAFO SCR. Doc. 89/

HUNT, J.J. 1989. Status of the Atlantic cod stock on Georges Bank unit areas 5Zj and 5Zm, 1978-88. CAFSAC Res. Doc. 89/47.

HURLEY, P.C.F., and S.E. CAMPANA. 1989. Distribution and abundance of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) and Atlantic cod (*Gadus morhua*) eggs and larvae in the waters off southwestern Nova Scotia. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):103-112.

JOLLY, G.M., and S.J. SMITH. 1989. A note on the analysis of marine survey data. p.195-201. In: Progress in Fisheries Acoustics, Proc. of the Institute of Acoustics. Vol. 11, Part 3. MAFF Fisheries Lab. Lowestoft, England.

KEAN-HOWIE, J.C., S. PEARRE, JR., and L.M. DICKIE. 1989. Experimental predation by sticklebacks on larval mackerel and protection of fish larvae by zooplankton alternative prey. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 124:239-259.

KOELLER, P.A., L. COATES-MARKLE, and J.D. NEILSON. 1989. Feeding ecology of juvenile (0-group) silver hake (*Merluccius bilinearis*) on the Scotian Shelf. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:1762-1768.

KOSLOW, J.A., R.I. PERRY, P.C.F. HURLEY, and R.O. FOURNIER. 1989. Structure and interannual variability of the plankton and its environment off southwest Nova Scotia in late spring and early summer. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):44-54.

LAMBERT, T.C., and S.N. MESSIEH. 1989. Spawning dynamics of Gulf of St. Lawrence herring. Can. J. Aquat. Sci. Fish. 46(12):2085-2094.

LAMBERT, T.C. 1989. Spawning dynamics of Gulf of St. Lawrence herring. (Abstract) Symp./ Workshop on "The Gulf of St. Lawrence: Small Ocean or Big Estuary?", Maurice Lamontagne Institute, Mont-Joli, Quebec.

LAMBERT, T.C. 1989. Spawning and egg distribution of Atlantic Mackerel (*Scomber scombrus*) in the Gulf of St. Lawrence. (Abstract) Fisheries Society of British Isles Symp. on Fish Population Biology, Aberdeen, Scotland.

LOSIER, R.J., and L.E. WAITE. 1989. Systematic listing of scientific and/or common names of invertebrates, vertebrates and marine plants and their respective codes used by Marine Fish Division, Fisheries and Oceans, Scotia-Fundy Region (Revised). Can. Data Rpt. Fish. Aquat. Sci. 721:v+139 p.

LOUGH, R.G., P.C. VALENTINE, D.C. POTTER, P.J. AUDITORE, G.R. BOLZ, J.D. NEILSON, and R.I. PERRY. 1989. Ecology and distribution of juvenile cod and haddock in relation to sediment type and bottom currents on eastern Georges Bank. Mar. Ecol. Prog. Ser. 56:1-12.

MAYO, R.K., S.H. CLARK, and M.C. ANNAND. 1989. Stock Assessment Information for Pollock (*Pollachius virens* L.) in the Scotian Shelf, Georges Bank, and Gulf of Maine Regions. NOAA Technical Memorandum. NMFS-F/NEC-65.

MOHN, R.K. 1989. The efficiency and impact of biological, economic and formal controls in a modelled fishery. (Abstract) Titles and Abstracts of Principal Lectures, Second Interdisciplinary Conference on Natural Resource Modelling and Analysis, Oct. 12-14, 1989, Florida State University, Tallahassee, FL.

MUELBERT, M.M.C., and W.D. BOWEN. 1989. Mass changes in weaned harbour seal pups. (Abstract) 8th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Monterey, CA.

MYERS, R., and W.D. BOWEN. 1989. Estimating bias in aerial surveys of harp seal pup production. J. Wildl. Manage. 53:361-372.

NEILSON, J.D., K.G. WAIWOOD, and S.J. SMITH. 1989. Survival of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) caught in longline and otter trawl gear. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:887-897.

NEILSON, J.D. 1989. Book review of "Fisheries of the Atlantic Coast" by W.B. Scott and M. Scott. Canadian Society of Environmental Biologists' Newsletter.

NEILSON, J.D., and W.R. BOWERING. 1989. Minimum size regulations and the implications for yield and value in the Canadian Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fishery. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:1899-1903.

NI, I.-H., R.B. MILLAR, and W.D. BOWEN. 1989. Growth models: Which one fits better for harp seals. (Abstract) 8th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Monterey, CA.

O'BOYLE, R.N., K.T. FRANK, and J. SIMON. 1989. An evaluation of the population dynamics of 4X haddock during 1962-88 with yield projected to 1990. CAFSAC Res. Doc. 89/95:62 p.

OFTEDAL, O.T., W.D. BOWEN, E.M. WIDDOWSON, and D.J. BONESS. 1989. Effects of suckling and the postsuckling fast on weights of the body and internal organs of harp and hooded seal pups. Biol. Neonate 56:283-300.

PAGE, F.H., and K.T. FRANK. 1989. Spawning time and egg stage duration in northwest Atlantic haddock stocks with emphasis on Georges and Browns Bank. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):68-81.

OFTEDAL, O.T., W.D. BOWEN, and D. BONESS. 1989. Reproductive energetics of the hooded seal. (Abstract) 8th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Monterey, CA.

PAGE, F.H., K.T. FRANK, and K. THOMPSON. 1989. Stage dependent vertical distribution of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) eggs in a stratified water column: Field evidence and an interpretive model. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):55-67.

PERRY, R.I., P.C.F. HURLEY, P.C. SMITH, J.A. KOSLOW, and R.O. FOURNIER. 1989. Modelling the initiation of spring phytoplankton blooms: A synthesis of physical and biological interannual variability off southwest Nova Scotia, 1983-1985. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):183-199.

PINEIRO, C., and J.J. HUNT. 1989. Comparative study on growth of European hake from the southern stock using whole and sectioned otoliths and length frequency distributions. ICES C.M. 1989/G:37.

ROSS, P.S., R. ADDISON, B. POHAJDAK, and W.D. BOWEN. 1989. Immune function in harbour seals. (Abstract) 8th Biennnial Conference on the Biology of Marine Mammals, Monterey, CA.

SMITH, P.C., K.T. FRANK, and R. MAHON. 1989. General introduction to southwest Nova Scotia Fisheries Ecology Program, 1982-1989. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):2-3.

SMITH, S.J., and T.C. LAMBERT. 1989. Subdivision 4Vn cod (May-December): Update of stock status for 1988. CAFSAC Res. Doc. 89/44:28 p.

STEPHENSON, R.L., and M.J. POWER. 1989. Observations on herring retained in the Bay of Fundy: Variability in vertical movement and position of the patch edge. Rap. P. -v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. 191:177-183.

STEPHENSON, R.L., and M.J. POWER. 1989. Reappearance of Georges Bank herring: A biological update. CAFSAC Res. Doc. 89/60.

STEPHENSON, R.L., and M.J. POWER. 1989. Assessment of the 4WX herring fishery. CAFSAC Res. Doc. 89/59.

STEPHENSON, R.L., and M.J. POWER. 1989. The 1988 4Vn herring fishery, biological update. CAFSAC Res. Doc. 89/61.

STEPHENSON, R.L., and M.J. POWER. 1989. A review of the "Scots Bay" herring fishery in the upper Bay of Fundy (4X). CAFSAC Res. Doc. 89/62.

STOBO, W.T., B. BECK, and L.P. FANNING. 1989. Seasonal sealworm (*Pseudoterranova decipiens*) abundance in grey seals (*Halichoerus grypus*). (Abstract) 8th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Monterey, CA.

SUTHERS, I.M., and K.T. FRANK. 1989. Dispersal, growth, and condition of juvenile pelagic cod (*Gadus morhua*) in southwestern Nova Scotia. p. 466-467. (Abstract) Rap. P. -v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer 191.

SUTHERS, I.M., and K.T. FRANK. 1989. Interannual distributions of larval and pelagic juvenile cod in southwestern Nova Scotia determined with two different gear types. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:591-602.

SUTHERS, I.M., K.T. FRANK, and S.E. CAMPANA. 1989. Spatial comparison of recent growth post-larval Atlantic cod (*Gadus morhua*) off southwestern Nova Scotia: Inferior growth in a presumed nursery area. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):113-124.

TAGGART, C.T., K.F. DRINKWATER, K.T. FRANK, J. MCRUER, and P. LaROUCHE. 1989. Larval fish, zooplankton community structure, and physical dynamics at a tidal front. Rap. P. -v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer 191:184-194.

WALDRON, D.E. 1989. Cannibalism in silver hake and how it influences production. NAFO SCR. Doc. 89/68.

WALDRON, D.E., C. BOURBONNAIS, and M.A. SHOWELL. 1989. Size of the Scotian Shelf Silver Hake Population Size in 1988 and Projections to 1990. NAFO SCR. Doc. 89/48.

ZWANENBURG, K. 1989. Assessment of 4TVW haddock with catch projections to 1990. CAFSAC Res. Doc. 89/64.

ZWANENBURG, K., and P. FANNING. 1989. Assessment of haddock in 4TVW–population status and catch projections for 1989. CAFSAC Res. Doc. 88/76.

Division des invertébrés et de l'aquaculture
1988

ACID RAIN STUDY GROUP. 1988. Report of the Acid Rain Study Group, Copenhagen, March 15-19, 1988. ICES C.M. 1988/M:5.

AIKEN, D.E. (ed.) 1988. World Aquacult. 19(4):84 p.

AIKEN, D.E., and S.L. WADDY. 1988. Strategies for maximizing growth of communally reared juvenile American lobsters. World Aquacult. 19(3):61-63.

AIKEN, D.E. 1988. Marron farming: A real industry or just great promotion? World Aquacult. 19(4):14-17.

AIKEN, D.E. 1988. Lobster farming: fantasy or opportunity? p. 575-582. Proc., Aquaculture Int. Congress and Exposition. Pavilion Corporation, Vancouver, B.C.

AIKEN, D.E. (ed.). 1988. World Aquacult. 19(3):68 p.

AIKEN, D.E. (ed.). 1988. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 88-2:92 p.

AIKEN, D.E. (ed.). 1988. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 88-3:72 p.

AIKEN, D.E. 1988. Asia, an aquaculture giant. World Aquacult. Soc. Newsletter 19(2):1, 10-12.

AIKEN, D.E. 1988. President's address. Through the looking glass: Yesterday, today and tomorrow. J. World Aquacult. Soc. 19:58-61.

AIKEN, D.E. 1988. Shrimp. p. 1998-1999. In: Canadian Encyclopedia, 2nd ed. Hurtig Publishers, Edmonton.

AIKEN, D.E. (ed.) 1988. World Aquacult. Soc. Newsletter 19(2):16 p.

AIKEN, D.E., and S.L. WADDY. 1988. Temperature-photoperiod control of spawning by American lobsters: A facultative regulatory system. (Abstract) J. Shellf. Res. 7:196.

AIKEN, D.E. 1988. Malacostraca. p. 548-549. In: Canadian Encyclopedia, 2nd ed. Hurtig Publishers, Edmonton.

AIKEN, D.E. 1988. Lobster. p. 1235. In: Canadian Encyclopedia, 2nd ed. Hurtig Publishers, Edmonton.

AIKEN, D.E. 1988. Crab. p. 529. In: Canadian Encyclopedia, 2nd ed. Hurtig Publishers, Edmonton.

AIKEN, D.E. 1988. Crayfish. p. 532. In: Canadian Encyclopedia, 2nd ed. Hurtig Publishers, Edmonton.

AIKEN, D.E. 1988. Crustacean resources. p. 548-549. In: Canadian Encyclopedia, 2nd ed. Hurtig Publishers, Edmonton.

AIKEN, D.E. (ed.). 1988. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 88-1:56 p.

AMIRO, P.G., J.A. RITTER, and G.L. LACROIX. 1988. Impact of acidification on yield of Atlantic salmon to Canadian waters for rivers of the Atlantic uplands of Nova Scotia. ICES Working Paper for the Study Group of Acid Rain.

ANON. 1988. Report of ICES Working Group on Genetics. ICES C.M. 1988/F:39 Mariculture Committee.

CHARMANTIER, G., M. CHARMANTIER-DAURES, N. BOUARICHA, P. THUET, D.E. AIKEN, and J.-P. TRILLES. 1988. Ontogeny of osmoregulation and salinity tolerance in two decapod crustaceans: *Homarus americanus* and *Penaeus japonicus*. Biol. Bull. 175:102-110.

CHARMANTIER, G., M. CHARMANTIER-DAURES, and D.E. AIKEN. 1988. Larval development and metamorphosis of the American lobster (*Homarus americanus*, *Crustacea, Decapoda*): Effect of eyestalk ablation and juvenile hormone injection. Gen. Comp. Endocr. 70:319-333.

CHARMANTIER, G., M. CHARMANTIER-DAURES, and D.E. AIKEN. 1988. Human somatotropin enhances the growth of young American lobsters (*Homarus americanus*, *Crustacea, Decapoda*). C. R. Acad. Sci. Paris (Ser. III) 308:21-26.

CHARMANTIER-DAURES, M., G. CHARMANTIER, J.E. VAN DEIJNEN, F. VAN HERP, P. THUET, J.-P. TRILLES, and D.E. AIKEN. 1988. Isolement d'un facteur pédonculaire intervenant dans le contrôle neuroendocrine du métabolisme hydrominéral de *Homarus americanus* (*Crustacea, Decapoda*). Premiers résultats. C. R. Acad. Sci. Paris (Ser. III) 307:439-444.

COOK, R.H. 1988. Salmon aquaculture in the Bay of Fundy: A quiet success. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 88-2:28-40.

MARTIN, J.L., and A.W. WHITE. 1988. Distribution and abundance of the toxic dinoflagellate *Gonyaulax excavata* in the Bay of Fundy. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:1968-1975.

MARTIN, J.L. 1988. The effects of harmful marine algal blooms on Canada's Atlantic fisheries. p. 19-26. In: W.E.L. Clayton (ed.). Proc. of the Workshop on Exceptional Marine Blooms—Their Impact on Fisheries and Aquaculture. Bamfield Marine Station R&D Workshop #1, Bamfield, B.C.

PETERSON, R.H., D.J. MARTIN-ROBICHAUD, and J. POWER. 1988. Toxicity of potash brines to early development stages of Atlantic salmon. Bull. Env. Cont. Tox. 41:391-397.

SANDER, F. 1988. St. Andrews Biological Station publications 1977-86. Can. MS Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1960:iv+32 p.

SAUNDERS, R.L., and P.R. HARMON. 1988. Extended daylight increases postsmolt growth of Atlantic salmon. World Aquacul. 19(4):72-73.

SAUNDERS, R.L. 1988. Salmon science. Atlantic Salmon Journal 37(4):32-34.

SAUNDERS, R.L., and E.B. HENDERSON. 1988. Effects of constant daylength on sexual maturation and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:60-64.

SAUNDERS, R.L., and A.P. FARRELL. 1988. Coronary arteriosclerosis in Atlantic salmon: No regression of lesions after spawning. Arteriosclerosis 8:378-384.

SAUNDERS, R.L. 1988. Canadian genetics studies relevant to aquaculture. ICES Working Group on Genetics, Trondheim, Norway, June 1988:10 p.

SAUNDERS, R.L., and P.R. HARMON. 1988. Photostimulation of postsmolt growth of Atlantic salmon. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 88-4:10-12.

SAUNDERS, R.L. 1988. Algal catastrophe in Norway. World Aquacult. 19(3):11-12.

SAUNDERS, R.L. 1988. The view from here: Research and technology. Can. Aquacult. 4(2):69-70.

WADDY, S.L. 1988. Farming of the homarid lobsters: State of the art. World Aquacult. 19(4):63-71.

WADDY, S.L., and D.E. AIKEN. 1988. Intermolt mating and insemination in preovigerous American lobsters. (Abstract) Amer. Zool. 28:110A.

WADDY, S.L. (ed.). 1988. Proc. 1988 Annual Meeting. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 88-4:232 p.

WADDY, S.L., D.E. AIKEN, and M.D. EAGLES. 1988. Growth rates of male and female cultured lobsters and effect of culling on growth rates. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 88-4:66-68.

WAIWOOD, K.G. 1988. A transportable seawater holding facility for research vessels. Aquacult. Engineering 7:127-138.

WAIWOOD, K.G. 1988. Interannual variation in growth of southern Gulf of St. Lawrence cod (*Gadus morhua*) in relation to biomass, diet composition, river runoff, and temperature. p. 139-160. In: T. Wyatt and F. Larraneta (eds.). Int. Symp. on Long-Term Changes in Marine Fish Populations. Vigo, Spain.

WILDISH, D.J., A.J. WILSON, W. YOUNG-LAI, A.M. DECOSTE, D.E. AIKEN, and J.D. MARTIN. 1988. Biological and economic feasibility of four grow-out methods for the culture of giant scallops in the Bay of Fundy. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1658:iii+21 p.

WILDISH, D.J., and D.D. KRISTMANSON. 1988. Growth response of giant scallops to periodicity of flow. Mar. Ecol. Prog. Ser. 42:163-169.

WILDISH, D.J., J.L. MARTIN, A.J. WILSON, and A.M. DECOSTE. 1988. Environmental monitoring of the Bay of Fundy salmonid mariculture industry during 1986 and 1987. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1648:iii+44 p.

WILDISH, D.J., A.J. WILSON, W. YOUNG-LAI, A.M. DECOSTE, D.E. AIKEN, and J.D. MARTIN. 1988. Biological and economic feasibility of four grow-out methods for the culture of giant scallops in the Bay of Fundy. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1658:iii+21 p.

WILDISH, D.J. 1988. Ecology and natural history of aquatic *Talitroidea*. Can. J. Zool. 66:2340-2359.

1989

ACID RAIN STUDY GROUP. 1989. Report of the study group on toxicological mechanisms involved in the impact of acid rain and its effects on salmon. Copenhagen, March 11-15, 1989. Int. Counc. Explor. Sea C.M. 1989/M:4, Ref. E:67 p.

AIKEN, D.E. 1989. Salmon farming in Canada: the Pacific coast. World Aquacult. 20(2):11-18.

AIKEN, D.E., and S.L. WADDY. 1989. Lobster culture. p. 77-122. In: A.D. Boghen (ed.). Cold-water aquaculture in Atlantic Canada. Canadian Institute for Research on Regional Development, Moncton, N.B.

AIKEN, D.E. 1989. The economics of salmon farming in the Bay of Fundy. World Aquacult. 20(3):11-19.

AIKEN, D.E. 1989. The fiber factor in cholesterol management. World Aquacult. 20(4):32.

AIKEN, D.E., and S.L. WADDY. 1989. Interaction of temperature and photoperiod in the regulation of spawning by American lobsters (*Homarus americanus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:145-148.

AIKEN, D.E. 1989. The allure of omega-3. World Aquacult. 20(1):39.

AIKEN, D.E., and S.L. WADDY. 1989. Allometric growth and onset of maturity in male lobsters: the crusher propodite index. J. Shellf. Res. 8:7-11.

ANON. 1989. Report of ICES Working Group on Genetics, Dublin, Ireland, May 24-26, 1989. Int. Counc. Explor. Sea C.M. 1989/F:17.

CAMPBELL, A. 1989. Interim report on dispersal of lobsters (*Homarus americanus*), tagged off southern Nova Scotia. Can. MS Rpt. Fish. Aquat. Sci. 2022:iv+29 p.

CAMPBELL, A. 1989. The lobster fishery of southwestern Nova Scotia and the Bay of Fundy. p. 141-158. In: J.F. Caddy (ed.). Marine invertebrate fisheries: their assessment and management. John Wiley and Sons, NY.

CHARMANTIER, G., M. CHARMANTIER-DAURES, and D.E. AIKEN. 1989. La somatotrophie stimule la croissance de jeune homards américains, *Homarus americanus* (*Crustacea, Decapoda*). C. R. Acad. Sci. Paris 308 (Ser. III):21-26.

CHARMANTIER, G., M. CHARMANTIER-DAURES, and D.E. AIKEN. 1989. Accelerating lobster growth with human growth hormone. World Aquacult. 20(2):52-53.

COUTURIER, C., and D.E. AIKEN. 1989. Possible role of photoperiod in sea scallop reproduction. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 89-3:65-67.

DUSTON, J., R.L. SAUNDERS, P.R. HARMON, and D. KNOX. 1989. Increase in photoperiod and temperature in winter advance completion of some aspects of smoltification in Atlantic salmon. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 89-3:19-21.

FARMER, G.L., R.L. SAUNDERS, T.R. GOFF, C.E. JOHNSTON, and E.B. HENDERSON. 1989. Some physiological responses of Atlantic salmon (*Salmo salar*) exposed to soft, acidic water during smolting. Aquacult. 82:229-244.

KOMOURDJIAN, M.P., J.C. FENWICK, and R.L. SAUNDERS. 1989. Endocrine-mediated photostimulation of growth in Atlantic salmon. Can. J. Zool. 67:1505-1509.

KÜGEL, B., and R.H. PETERSON. 1989. Perivitelline fluid pH of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) eggs in relation to ambient pH. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:2070-2073.

LACROIX, G.L. 1989. Physiological responses of salmonids as indicators of sublethal stress in acidified organic rivers of Atlantic Canada. p. 418-428. In: J. Bohác and V. Rizicka (eds.). Proc. 5th Int. Conf. Bioindicatores Deteriorisationis Regionis, Vol. II. Institute of Landscape Ecology, Czechoslovak Academy of Sciences, Ceské Budejovice.

LACROIX, G.L. 1989. Production of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in two acidic rivers of Nova Scotia. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:2003-2018.

LACROIX, G.L. 1989. Ecological and physiological responses of Atlantic salmon in acidified organic rivers of Nova Scotia, Canada. Water, Air Soil Pollut. 46:375-386.

LAWTON, P. 1989. Predatory interaction between the brachyuran crab (*Cancer pagurus*) and decapod crustacean prey. Mar. Ecol. Prog. Ser. 52:169-179.

MCCORMICK, S.D., R.L. SAUNDERS, and A.D. MACINTYRE. 1989. Mitochondrial enzyme and Na^+, K^+-ATPase activity, and ion regulation during parr-smolt transformation of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Fish Physiol. Biochem. 6:231-241.

MCCORMICK, S.K., R.L. SAUNDERS, and A.D. MACINTYRE. 1989. The effect of salinity and ration level on growth rate and conversion efficiency of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. Aquacult. 82:173-180.

NEILSON, J.D., K.G. WAIWOOD, and S.J. SMITH. 1989. Survival of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) caught by longline and otter trawl gear. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:887-897.

PETERSON, R.H., R.A. BOURBONNNIERE, G.L. LACROIX, D.J. MARTIN-ROBICHAUD, P. TAKATS, and G. BRUN. 1989. Responses of Atlantic salmon (*Salmo salar*) alevins to dissolved organic carbon and dissolved aluminum at low pH. Water, Air Soil Pollut. 46:399-414.

PETERSON, R.H., and D.J. MARTIN-ROBICHAUD. 1989. Community analysis of fish populations in headwater lakes of New Brunswick and Nova Scotia. Proc. Nova Scotian Institute Sci. 38:55-72.

PETERSON, R.H., A. SREEDHARAN, and S. RAY. 1989. Accumulation of trace metals in three species of fish from lakes in New Brunswick and Nova Scotia (Canada): influence of pH and other chemical parameters. Can. J. Water Pollut. Res. 24:101-117.

PETERSON, R.H., and D.J. MARTIN-ROBICHAUD. 1989. First feeding of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry as influenced by temperature regime. Aquacult. 78:35-53.

PETERSON, R.H., K. COOMBS, J. POWER, and U. PAIM. 1989. Responses of several fish species to pH gradients. Can. J. Zool. 67:1566-1572.

PETERSON, R.H. 1989. Species distribution of mayfly (*Ephemeroptera*) nymphs in three stream systems in New Brunswick and Nova Scotia with notes on identification. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1685:iii+14 p.

ROBICHAUD, D.A., R.F.J. BAILEY, and R.W. ELNER. 1989. Growth and distribution of snow crab (*Chionocetes opilio*) in the southeastern Gulf of St. Lawrence. J. Shellf. Res. 8:13-23.

SAUNDERS, R.L., J.L. SPECKER, and M.P. KOMOURDJIAN. 1989. Effects of photoperiod on growth and smolting in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquacult. 82:103-117.

SPECKER, J.L., T.W. WHITESEL, S.L. PARKER, and R.L. SAUNDERS. 1989. Thyroidal response of Atlantic salmon to sea water challenge: predictor of growth in sea water. Aquacult. 82:307-318.

SAUNDERS, R.L. 1989. Canadian genetics studies relevant to aquaculture. In: Report of ICES Working Group on Genetics, Dublin, Ireland, May 24-26, 1989. ICES C.M. 1989/F.17:4 p.

SAUNDERS, R.L. 1989. Salmonid aquaculture in Atlantic Canada: present status and prospects for the future. p. 31-75. In: A.D. Boghen (ed.). Cold-water aquaculture in Atlantic Canada. Canadian Institute for Research on Regional Development. Moncton, N.B.

WADDY, S.L., and D.E. AIKEN. 1989. Control of spawning in the American lobster: winter temperature and photoperiod requirements. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 89-3:94-96.

WAIWOOD, K.G. 1989. Halibut—a potential aquaculture species for Atlantic Canada. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 89-2:21-24.

WAIWOOD, K.G., and M.-I. BUZETA. 1989. The reproductive biology of southwest Scotian Shelf haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46(Suppl. 1):153-170.

WIGGS, A.J., E.B. HENDERSON, R.L. SAUNDERS, and M.N. KUTTY. 1989. Activity, respiration, and excretion of ammonia by Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt and postsmolt. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:790-795.

WILDISH, D.J., A.J. WILSON, W.W. YOUNG-LAI, A.D. DECOSTE, D.E. AIKEN, and J.D. MARTIN. 1989. Economic feasibility of scallop culture in the Bay of Fundy. p. 85-87. In: Atelier sur l'élevage du pétoncle géant tenu a Gaspé (Québec) les 30 novembre et 1er décembre 1988. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Pêches maritimes.

Division des poissons benthiques et de l'aquiculture
1988

ACKMAN, R.G., S.M. POLVI, R.L. SAUNDERS, and S.P. LALL. 1988. Lipid composition of market size fish and human health issues. p. 443-448. In: Proc. Aqua. Int. Congress and Exposition, Vancouver, B.C., Sept. 6-9, 1988.

BENINGER, P.G., R.W. ELNER, T.P. FOYLE, and P.H. ODENSE. 1988. Functional anatomy of snow crab (*Chionoecetes opilio*) reproductive systems, and a hypothesis for fertilization. (Abstract) J. Shellf. Res. 7:196.

BENINGER, P.G., R.W. ELNER, T.P. FOYLE, and P.H. ODENSE. 1988. Functional anatomy of the male reproductive system and the female spermatheca in the snow crab (*Chionoecetes opilio O. Fabricius [Decapoda: Majidae]*) and a hypothesis for fertilization. J. Crust. Biol. 8:164-176.

CASTELL, J. 1988. Fish Oil Facts: Is Fish Brain Food? World Aquacult. Magazine 19(3):21-22.

CASTELL, J.D., and G. OLIVIER. 1988. The Importance of Nutrition in Disease Resistance and Immune Responses of Fish. p. 121-138. In: E. Grimaldi and H. Rosenthal (eds.). Efficiency in Aquaculture Production: Disease Control. Proc. of the 3rd Int. Conf. on Aquafarming, "ACQUACOLTURA '86", Verona, Italy, Oct. 9-10, 1986.

CASTELL, J. 1988. Fish Oil Facts: The Eyes Have It. World Aquacult. Soc. Newsletter 19(2):3-4.

CHOPIN, T., J.D. PRINGLE, and R.E. SEMPLE. 1988. Reproductive captivity of dragraked and non-dragraked Irish moss (*Chondrus crispus*) beds in the southern Gulf of St. Lawrence. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:233-261.

COBB, S.J., and J.D. PRINGLE. 1988. Lobster Newsletter 1:10 p.

DUGGAN, D.R., and J.D. PRINGLE. 1988. Lobster size structure and seasonal distribution in the Clam Bay area of Halifax Co., N.S. CAFSAC Res. Doc. 88/13:21 p.

DUGGAN, D.R., and D.S. PEZZACK. 1988. Movement of offshore lobsters (*Homarus americanus*) displaced to coastal areas of Nova Scotia. CAFSAC Res. Doc. 88/67:13 p.

ELNER, R.W. 1988. Stock definition and larval mixing in the snow crab, *Chionoecetes opilio*. p. 33-34. In: G.S. Jamieson and D. McKone (eds.). Proc. of the Int. Workshop on Snow Crab Biology, Dec. 8-10, 1987, Montreal. Can. MS Rpt. Fish. Aqua. Sci. 2005.

ELNER, R.W., R.W. SEMPLE, and E.M. LACHANCE. 1988. Assessment of the 1987 fishery for snow crab, *Chionoecetes opilio*, around the Atlantic coast of Cape Breton Island. CAFSAC Res. Doc. 88/11:37 p.

ELNER, R.W., and R.L. VADAS. 1988. Sea urchins group for food, not out of fear. p. 13. In: Annual Rpt. Bermuda Biological Station for Research Inc.

HARDING, G., I. PERRY, J. TREMBLAY, K. DRINKWATER, J. PRINGLE, P. VASS, R. DUGGAN, and D. REIMER. 1988. Faunal boundaries across the front on the northern face of Georges Bank. p. 15. (Abstract) Proc. of 2nd Georges Bank Research Workshop.

ETTER, M.L., and R.K. MOHN. 1988. Scotia-Fundy Shrimp Stock Status—1987. CAFSAC Res. Doc. 88/12:29 p.

KOSHIO, S., S.I. TESTINA, J.D. CASTELL, and A. KANAZAWA. 1988. The effect of various binders on the growth and survival of larval kuruma shrimp, *Penaeus japonicus*, fed microparticulate diets based on crab protein. (Abstract) J. World Aquac. Soc. 19:43A.

LALL, S.P. 1988. Development of Atlantic salmon diets. Aquanotes 6:28-31.

LALL, S.P. 1988. Disease control through nutrition. p. 607-610. In: Proc. Aquac. Int. Congress and Exposition, Vancouver, B.C.

LALL, S.P. 1988. Fish meal, oil and silage: Requirements for aquaculture. p. 57-78. In: Proc. Fish Meal, Oil and Silage Conference, St. John's, Nfld.

LALL, S.P., G. OLIVIER, J.A. HINES, and H.W. FERGUSON. 1988. The role of vitamin E in nutrition and immune response of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Bull. Aquac. Assoc. of Can. 88-2:76-78.

LALL, S.P. 1988. The Minerals. p. 216-255. In: Fish Nutrition. Academic Press, NY.

MILLER, R.J. 1988. Lobster biology. Unpub. MS Report.

MISRA, R., J.F. UTHE, S. WILSON, and D.B. SWETNAM. 1988. Examination of the ICES Contaminant Data Sets; Sweden-Kattegat (43G1) and Belgian Coast (31F2) for Time Trends. p. 13-16. In: Theme Session R. Report of the 1988 Meeting of the Working Group on Statistical Aspects of Trend Monitoring. ICES C.M. 1988/E:27.

MOHN, R.K., G. ROBERT, and D.L. RODDICK. 1988. Georges Bank scallop stock assessment—1987. CAFSAC Res. Doc. 88/3:29 p.

MOHN, R.K., and R.W. ELNER. 1988. A novel approach to snow crab yield per recruit. CAFSAC Res. Doc. 88/14:12 p.

MOHN, R.K. 1988. Yield per recruit analysis. Collected papers on stock assessment methods CAFSAC Res. Doc. 66/61.

MOHN, R.K. 1988. Generic dynamic and production models for snow crab. p.132-144. In: G.S. Jamieson and D. McKone (eds.). Proc. of the Int. Workshop on Snow Crab Biology, Dec. 8-10, 1987, Montreal. Can. MS Rpt. Fish. Aqua. Sci. 2005.

MOORE, A.R., M.F. LI, and M. MCMENEMY. 1988. Isolation of a picorna-like virus from smelt, *Osmerus mordax* (Mitchill). J. Fish. Dis. 11:179-184.

MORRISON, C.M. 1988. Histology of the Atlantic Cod, *Gadus morhua*, an atlas. II—Respiratory system and pseudobranch. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 102:91 p.

MORRISON, C., and S. POYNTON. 1988. A new species of Goussia (*Apicomplexa, coccidia*) in the kidney of the cod, *Gadus morhua*. p. 1. (Abstract) Bull. Can. Soc. Zool. 19(2).

MORRISON, C.M. 1988. A coccidian in the kidneys of cod, *Gadus morhua* L., and haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L. p. 51. (Abstract) 3rd Int.Colloq. on Path. in Marine Aquac.

OLIVIER, G. 1988. Atypical furunculosis in the Maritimes: Progress Report. p. 6. (Abstract) 11th Fish Health Workshop, Halifax, N.S., March 15-19.

OLIVIER, G. 1988. Virulence of *Aeromonas salmonicida* can only be assessed *in vitro*. p. 125. (Abstract) Int. Fish Health Conference, Vancouver, B.C., July 19-21, 1988.

OLIVIER, G. 1988. Atypical furunculosis in Eastern Canada. p. 124. (Abstract) Int. Fish Health Conference, Vancouver, B.C., July 19-21, 1988.

PATERSON, W.D., and S.P. LALL. 1988. Natural and induced resistance to bacterial kidney disease infection. p. 30-33. In: Proc. Bact. Kid. Dis. Res. Plann. Meet., Vancouver, B.C., Oct. 15-16, 1988.

PEZZACK, D.S. 1988. Growth rates of *Homarus americanus* from offshore areas of the Scotian Shelf and the effect of intermolt period on population size frequency. p. 173. (Abstract) J. Shellf. Res. 7(1).

PEZZACK, D.S., and D.R. DUGGAN. 1988. An assessment of the Canadian offshore lobster fishery (LFA 41) for 1986-87. CAFSAC Res. Doc. 88/65:21 p.

POYNTON, S., and C.M. MORRISON. 1988. Ultrastructural studies of protozoa inhabiting the rectum of cod. p. 13. (Abstract) Bull. Can. Soc. Zool. 19(2).

PRINGLE, J.D., and R.E. SEMPLE. 1988. Impact of harvesting on Irish moss (*Chondrus crispus*) frond size class structure. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:767-773.

PRINGLE, J.D. 1988. Lobster (Group II) Workteam Report: An assessment of the Sutcliffe hypothesis. p. 210-203. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1626.

RIVARD, D., W.D. MCKONE, and R.W. ELNER (ed.). 1988. Resource Prospects for Canada's Atlantic Fisheries, 1989-1993. Department of Fisheries and Oceans, DFO/4061:270.

ROBERT, G., and M.J. LUNDY. 1988. The Grand Manan area scallop stock assessment—1987. CAFSAC Res. Doc. 88/21:31 p.

ROBERT, G., M.A.E. BUTLER-CONNOLLY, and M.J. LUNDY. 1988. Evaluation of the Bay of Fundy scallop stock and its fishery—(plus a yield per recruit analysis). CAFSAC Res. Doc. 88/20:35 p.

ROBERT, G., and M.J. LUNDY. 1988. Gear performance in the Bay of Fundy scallop fishery. I—Preliminaries. CAFSAC Res. Doc. 88/19:28 p.

ROBERT, G., M.J. LUNDY, and M.A.E. BUTLER-CONNOLLY. 1988. Scallop fishing grounds on the Scotian Shelf—1987. CAFSAC Res. Doc. 88/22:40 p.

SEMPLE, R.E., and G.J. SHARP. 1988. Seeing is believing: The use of underwater video in fisheries resource management. p. 143-147. In: Proc. of the 8th Annual Scientific Diving Symp., Sept. 1988, La Jolla, CA.

SHARP, G.J., H.S. SAMANT, and O.C. VAIDYA. 1988. Selected Metal Levels of Commercially Valuable Seaweeds Adjacent to and Distant from Point Sources of Contamination in Nova Scotia and New Brunswick. Bull. Env. Cont. Tox. 40:724-730.

SHARP, G.J., and C. LAMSON. 1988. Approaches to reducing conflict between traditional fisheries and aquaculture. Bull. Aqua. Assoc. Can. 88(4):150-152.

SHIEH, H.S. 1988. An extracellur toxin produced by fish kidney disease bacterium, *Renibacterium salmoninarum*. Microbiol. Letters 38:27-30.

SHIEH, H.S. 1988. Blood-free media for the cultivation of the fish kidney disease bacterium, *Renibacterium salmoninarum*. Microbiol. Letters 37:141-145.

SHORTT, T.A., G. OLIVIER, and J. ELNER. 1988. Comparison of the fluorescent antibody and the culture techniques for detecting BKD in Atlantic salmon (*Salmo salar*). p. 85. (Abstract) Int. Fish Health Conference, Vancouver, B.C., July 19-21, 1988.

SHORTT, T.A., G. OLIVIER, and J. ELNER. 1988. Significance of Immunofluorescence (IFAT and DFAT) in Detecting the BKD Bacterium: Preliminary Results. p. 79-81. In: Proc. of the 11th Atlantic Regional Fish Health Workshop. Bull. Aqua. Assoc. of Can. 88-2.

TAN, F.C., D. CAI, and D.L. WODDICK. 1988. Oxygen isotope studies on sea scallops (*Placopecten magellanicus*) from Browns Bank, Nova Scotia. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:1378-1386.

TREMBLAY, M.J. 1988. Recent studies of larval sea scallops on Georges Bank. p. 1. (Abstract) Proc. of 2nd Georges Bank Research Workshop.

TREMBLAY, M.J., and M.M. SINCLAIR. 1988. The vertical and horizontal distribution of sea scallops (*Placopecten magellanicus*) larvae in the Bay of Fundy in 1984 and 1985. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 8:43-53.

TREMBLAY, M.J. (ed.). 1988. A summary of the Proc. of the Halifax Sea Scallop Workshop, August 13-14, 1987. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1605:12 p.

1989

APPLEBY, J.A., and D.J. SCARRATT. 1989. Physical effects of suspended solids on marine and estuarine fish and shellfish, with special reference to ocean dumping: A literature review. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. Nº 1681:v+33 p.

BAILEY, R.F.J., and R.W. ELNER. 1989. Northwest Atlantic snow crab fisheries: lessons in research and management. p. 261-280. In: J.F. Caddy (ed.). Marine Invertebrate Fisheries: Their Assessment and Management. John Wiley and Sons, NY.

BENHALIMA, K., and P.G. BENINGER. 1989. Electron microscope examination of the first and second pleopods of the mature and immature *Chionoecetes opilio*. Contract report to DFO:27 p.

CASTELL, J.D. 1989. An integrated fish farm in China. World Aquacult. 20(3):20-23

CASTELL, J.D. 1989. Fish oil facts 4. Diabetes and pancreatic function. World Aquacult. 20(4):30-31.

CASTELL, J.D. (ed.) 1989. Crustacean Nutrition Newsletter 5(1):1-40.

CASTELL, J.D., and D.J. SCARRATT. 1989. Fish oil facts 3. Fish oil your joints: Evidence for dietary alleviation of arthritic symptoms. World Aquacult. 20(3):31-32.

CASTELL, J.D., J.C. KEAN, L.R. D'ABRAMO, and D.E. CONKLIN. 1989. A standard reference diet for crustacean nutrition research. I. Evaluation of two formulations. J. World Aquacult. Soc. 20(3):93-99.

CASTELL, J.D., J.C. KEAN, D.G.C. MCCANN, A.D.D. BOGHEN, D.E. CONKLIN, and L.R. D'ABRAMO. 1989. A standard reference diet for crustacean nutrition research. II. Selection of a purification procedure for production of the rock crab (*Cancer irroratus*) protein ingredient. J. World Aquacult. Soc. 20(3):100-106.

CHO, C.Y., A.J. CASTLEDINE, and S.P. LALL. 1989. The status of Canadian aquaculture and its feed supplies. (Abstract) Int. Symp. Feed. Nutr. Fish., Toba, Japan.

COBB, J.S., and J.D. PRINGLE (ed.). 1989. Lobster Newsletter 2(1 and 2).

CORNICK, J.W. 1989. Fish farming and disease control in Atlantic Canada. (Abstract) Presented at the DAFS Freshwater Fisheries Laboratory, Pitlochry, Scotland, May 1989.

CORNICK, J.W. 1989. A bird's eye view of fish health problems in the Maritime Provinces. (Abstract) Presented at the 12th Annual Fish Health Workshop, Halifax, N.S., Oct. 1989.

CORNICK, J.W. 1989. The changing diagnostic needs of a developing aquaculture industry in the Canadian Maritime Provinces. (Abstract) Presented at the 6th Annual Aquaculture Assoc. of Canada Meeting, St. John's, Nfld., July 1989.

CORNICK, J.W. 1989. A disease history of the Salmon Genetics Research Program at the Atlantic Salmon Federation. Salmon Genetic Research Program (SGRP) Workshop, St. Andrews, N.B., Oct. 1989.

CORNICK, J.W. 1989. An overview of the current health status of cultured Atlantic salmon in the Atlantic Provinces. (Abstract) Presented at the Canada-Norway Finfish Aquaculture Workshop, St. Andrews Biological Station, St. Andrews, N.B., Sept. 1989.

CORNICK, J.W. 1989. The changing diagnostic needs of a developing aquaculture industry in the Maritime provinces. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 89-3:122-124.

ELNER, R.W., R.E. SEMPLE, and M. GILLIS. 1989. Assessment 1988: Snow crab off the Atlantic coast of Cape Breton Island. CAFSAC Res. Doc. 89/11:39 p.

ELNER, R.W., and P.G. BENINGER. 1989. Comment on functional maturity in small male snow crab (*Chionoecetes opilio*): Sizing up the evidence. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:2037-2039.

ETTER, M.L., and R.K. MOHN. 1989. Scotia-Fundy shrimp stock status—1988. CAFSAC Res. Doc. 89/4:25 p.

FOYLE, T.P., R.K. O'DOR, and R.W. ELNER. 1989. Energetically defining the thermal limits of snow crab. J. Exp. Biol. 145:371-393.

GOFF, G., and S.P. LALL. 1989. An initial examination of the nutrition and growth of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed whole herring with a vitamin supplement. (Abstract) Aquac. Assoc. Can. Annual Meeting.

GOFF, G.P., and S.P. LALL. 1989. An initial examination of the nutrition and growth of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed whole herring with a vitamin supplement. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 89-3:56-58.

GRIFFITHS, S., W.H. LYNCH, and G. OLIVIER. 1989. Routine diagnosis of Atlantic salmon tissue for the presence of pathogens using a rapid Western blot method. (Abstract) Presented at the 12th Regional Fish Health Workshop, Halifax, N.S., Oct. 1989.

GRIFFITHS, S., W.H. LYNCH, and G. OLIVIER. 1989. The use of a rapid Western Blot method to screen fish tissues for the presence of antigenic material produced by *Renibacterium salmoninarum* causative agent of BKD. (Abstract) Meeting of the European Assoc. of Fish Path., Santiago de Compostella, Spain, Sept. 1989.

HUGHES, R.N., and R.W. ELNER. 1989. Foraging behaviour of a tropical crab: *Calappa ocellata Holthuis*, feeding upon the mussel *Branchidontes domingensis* (Lamarck). J. Exp. Mar. Bio. Ecol. 133:93-101.

JACKSON, D., and J.D. CASTELL. 1989. The effect of food ration and aquarium shape on survival and growth of larval lobsters (*Homarus americanus*). World Aquacult. 20(3):76-77.

JAMIESON, G.S., R. BAILEY, C.Y. CONAN, R.W. ELNER, W.D. MCKONE, and D.M. TAYLOR. 1988. Executive summary workshop report. p. vii-xii. In: Proc. of the Int. Workshop on Snow Crab Biology, Dec. 8-10, 1987. Montreal. Can. MS. Rpt. Fish. Aquat. Sci. N° 2005.

KEAN-HOWIE, J.C., R.K. O'DOR, R.G. ACKMAN, J.D. CASTELL, J. GRANT, and G.F. NEWKIRK. 1989. Use of microparticulate diets in nutrition research on juvenile scallops. (Abstract) Presented at the 12th Annual Regional Fish Health Workshop, Halifax, Oct. 1989.

KEAN-HOWIE, J.C., R.K. O'DOR, and J. GRANT. 1989. The development of a microparticulate diet for nutrition physiology research with the sea scallop, *Placopecten magellanicus*. (Abstract) Presented at the 6th Annual Aquaculture Assoc. of Canada Meeting, St. John's, Nfld., July 1989.

KEAN-HOWIE, J.C., R.K. O'DOR, and J. GRANT. 1989. The development of a microparticulate diet for nutrition physiology research with the sea scallop, *Placopecten magellanicus*. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 89-3:74-76.

KEAN-HOWIE, J.C., M.A. SILVA, and R.K. O'DOR. 1989. The use of a microparticulate diet for feeding studies on veliger larvae of *Placopecten magellanicus*: In: Evidence of acceptability. (Poster) Presented at the 6th Annual Aquaculture Assoc. of Canada Meeting, St. John's, Nfld., July 1989.

KENCHINGTON, E., and W.E. FULL. 1989. Fourier analysis of image versus linear morphometrics in the discrimination of populations. (Abstract, Poster) Multivariate Statistics Workshop, Rothamsted Experimental Station, Harpenden, U.K., Sept. 1989.

KOSHIO, S., L.E. HALEY, and J.D. CASTELL. 1989. The effect of two temperatures and salinities on growth and survival of bilaterally eyestalk ablated and intact juvenile American lobsters, *Homarus americanus*, fed brine shrimp. Aquacult. 76:373-382.

KOSHIO, S., A. KANAZAWA, S. TESHIMA, and J.D. CASTELL. 1989. Nutritional evaluation of crab protein for larval *Penaeus japonicus* fed microparticulate diets. Aquacult. 81:145-154.

MCLAREN, I.A., M.J. TREMBLAY, C.J. CORKETT, and J.C. ROFF. 1989. Copepod production on the Scotian Shelf. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:560-583.

LALL, S.P., and G. OLIVIER. 1989. Role of specific nutrients in defence mechanisms of fish and mammals. (Abstract) Presented at the 14th Int. Congress of Nutrition. Seoul, Korea, August 1989.

LALL, S.P. 1989. Nutrition and feeding strategies for broodstock fish. p. 8. (Abstract) Aquaculture '89, Los Angeles, Am. Fish. Soc.

LALL, S.P. 1989. New developments in fish feed production in eastern Canada. p. 2-4. Proc. of the 38th Annual Meeting of Expert Comm. on Animal Nutrition, Vancouver, June 3-7, 1989.

LALL, S.P. 1989. The role of mineral supplementation in fish feed formulation. p. 196-205. Proc. of the 25th Annual Nutrition Conference of Feed Manufacturers, Toronto, April 25-26, 1989.

LALL, S.P., G. OLIVIER, D.E.M. WEERAKOON, and J.A. HINES. 1989. The effect of vitamin C deficiency and excess on immune responses in Atlantic salmon, *Salmo salar*. (Abstract) 3rd Int. Symp. Feed. Nutr. Fish. Toba, Japan.

LALL, S.P. 1989. Salmonid nutrition and fish feed production. p. 92. Aquaculture '89, Los Angeles, Am. Fish. Soc.

MILLER, R.J., and R.K. MOHN. 1989. Less Leslie please. CAFSAC Res. Doc. 89/22:14 p.

MILLER, R.J. 1989. Catchability of American lobsters (*Homarus americanus*) and rock crabs (*Cancer irroratus*) by traps. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:1652-1657.

MILLER, R.J. 1989. Traps as a survey tool for animal density. p. 331-339. Proc. Gulf. Carib. Fish. Inst. 39.

MILLER, R.J., and R. DAAN. 1989. Planktonic predators and copepod abundance near the Dutch coast. J. Plank. Res. 11:263-282.

MOHN, R.K., G. ROBERT, and G.A.P. BLACK. 1989. Georges Bank scallop stock assessment—1988. CAFSAC Res. Doc 89/21:26 p.

MOHN, R.K., and L. SAVARD. 1989. Length-based population analysis of Sept-Iles shrimp. NAFO SCR Res. Doc. 89/92:18 p.

MOORE, A.R., and G. OLIVIER. 1989. Phagocytosis of various *Aeromonas salmonicida* isolates by peritoneal macrophages of Atlantic salmon. (Poster) Presented at Fish Health Section and Eastern Fish Health Workshop, July 1989.

MOORE, A.R., and G. OLIVIER. 1989. Phagocytosis by peritoneal macrophages from Atlantic salmon: problems in the study of *Aeromonas salmonicida*. (Abstract) Presented at the 12th Regional Fish Health Workshop, Halifax, Nova Scotia, Oct. 1989.

MORRISON, C.M., and S. POYNTON. 1989. A coccidian in the kidney of the haddock, *Melanogramus aeglefinus* L. J. Fish Dis. 12:591-593.

MORRISON, C.M., and S.L. POYNTON. 1989. A new species of Goussia (*Apicomplexa, coccidia*) in the kidney tubules of the cod, *Gadus morhua* L. J. Fish Dis. 12:533-560.

MORRISON, C., and V. MARRYATT. 1989. Stages in reproductive cycle of cod. (Abstract) 28th Annual Meeting of Can. Soc. of Zoologists.

MORRISON, C.M. 1989. Histology of the Atlantic cod, *Gadus morhua*: An atlas. III—Reproductive tract. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 111:177 p.

OLIVIER, G. 1989. Fish health. (Abstract) Scotia-Fundy Aquaculture Workshop, Halifax, N.S., Jan. 1989.

OLIVIER, G., S.P. LALL, D.E.M. WEERAKOON, and J. HINES. 1989. The effect of Vitamin C deficiency and excess on the immune response of Atlantic salmon. (Abstract) Presented at the 12th Regional Fish Health Workshop, Halifax, N.S., Oct. 1989.

OLIVIER, G. 1989. Advances in bacterial disease research at the Halifax Laboratory. (Abstract)

Canada-Norway Workshop, St. Andrews, N.B., Sept. 1989.

OLIVIER, G., S.P. LALL, and J. HINES. 1989. Role of Vitamin E and C in disease resistance of Atlantic salmon (*Salmo salar*). (Abstract) Int. Conference on Phylogeny of Immunity, Roscoff, France, July 1989.

OLIVIER, G. 1989. Fish Immunology. (Abstract) Half-day course as part of a two-day workshop for the aquaculture industry organized by the University of New Brunswick at St. Andrews, N.B., May 1989.

OLIVIER, G. 1989. Recent advances in fish disease research at the Halifax Laboratory. (Abstract) ICES Meeting, Diseases of Aquatic Organisms, Kiel, Germany, March 1989.

PEZZACK, D.S. 1989. Comments on "Dispersal of *Homarus americanus* larvae in the Gulf of Maine from Browns Bank" by G.C. Harding and R.W. Trites. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46(6):589-590.

PEZZACK, D., R. MILLER, and J.D. PRINGLE. 1989. Lobster biology and ecology. p. 9-12. In: The Scotia-Fundy Lobster Fishery Phase One: Issues and Considerations. Unpub. MS Report.

PEZZACK, D.S., and D.R. DUGGAN. 1989. Female size-maturity relationships for offshore lobsters (*Homarus americanus*). CAFSAC Res. Doc. 89/66:9 p.

PEZZACK, D.S. 1989. Lobster (*Homarus americanus*) abundance in the Canadian Maritimes over the last 30 years, an example of extremes. NAFO SRC Doc. 89/82, Serial N° NN1666:15 p.

POYNTON, S.L., and C.M. MORRISON. 1989. Morphology of diplomonad flagellates inhibiting the digestive tract of a salmonid and two species of marine gadoids. (Abstract) Proc. of A.F.S. and Eastern Fish Workshop.

PRINGLE, J.D., and G. SHARP. 1989. A Canadian fishery update and advice to policymakers and the stock assessment phycologist. p. 133-139. In: C. Yarish, C. Penniman, and P. van Patten (eds.). Economically Important Plants of the Atlantic: Their Biology and Cultivation.

PRINGLE, J.D., R. UGARTE, and R. SEMPLE. 1989. Interannual variation in Irish moss production. (Abstract) 13th Int. Seaweed Symp., Vancouver, B.C., August 1989.

PRINGLE, J.D., D. JAMES, and C.K. TSENG. 1989. Overview of a workshop on production and utilization of commercial seaweeds—Qingdao, China, 1987. J. Appl. Phyco. 1:89-90.

PRINGLE, J.D., and A. CAMPBELL. 1989. Lobster research—Back to the basics. Science 87:18-21.

ROBERT, G., M.J. LUNDY, and M.A.E. BUTLER-CONNOLLY. 1989. Scallop fishing grounds on the Scotian Shelf—1988. CAFSAC Res. Doc 89/19:33 p.

ROBERT, G., M.A.E. BUTLER-CONNOLLY, and M.J. LUNDY. 1989. Bay of Fundy scallop stock assessment for 1988, a year of record landings. CAFSAC Res. Doc. 89/18:38 p.

ROBERT, G. 1989. ICES Report on the Working Group on Pectinid Stocks (Aberdeen 1988). J.A. Mason (ed.). ICES C.M. 1989/K:12.

ROBERT, G., and M.J. LUNDY. 1989. Gear performance in the Bay of Fundy scallop fishery. Two selectivity studies. CAFSAC Res. Doc. 89/17:32 p.

ROBICHAUD, D.A., R.F.J. BAILEY, and R.W. ELNER. 1989. Growth and distribution of snow crab (*Chionoecoetes opilio*) in the southeastern Gulf of St. Lawrence. J. of Shellf. Res. 8:13-28.

SAFRAN, E.B., T.P. FOYLE, and R.W. ELNER. 1989. Prospects for distinguishing morphometrically mature and immature crabs: an alternative management strategy for the snow crab fishery. Contract report to DFO:19 p.

SCARRATT, D.J., M.W. GILGAN, R. POCKLINGTON, and J.D. CASTELL. 1989. Depuration of Domoic Acid by Naturally Contaminated Mussels. (Abstract) Presented at 1st Int. Workshop on Molluscan Depuration, Orlando, FL, Nov. 1989.

SCARRATT, D.J., J. KEAN-HOWIE, K. FREEMAN, WEI DING, and R.K. O'DOR. 1989. An inexpensive flume for the experimental holding of bivalve molluscs. (Poster) Presented at 12th Annual Regional Fish Health Workshop, Halifax, Oct. 1989.

SHARP, G., J. PRINGLE, and R. DUGGAN. 1989. Assessing fishing effort by remote sensing in the Scotia-Fundy Region of Fisheries and Oceans. IGARSS 1989. 12th Canadian Symp. on Remote Sensing 4:2056-2060.

SHARP, G.J., and D. TREMBLAY. 1989. Frond mortality and tissue loss in *Chondrus crispus* populations. (Abstract) 13th Int. Seaweed Symp., Vancouver, B.C., August 1989.

SHARP, G.J., and J. PRINGLE. 1989. Ecological impact of marine plant harvesting in eastern Canada (Abstract) 13th Int. Seaweed Symp., Vancouver, B.C., August 1989.

SHARP, G., and C. LAMSON. 1989. Approaches to reducing conflict between aquaculture and traditional fisheries. World Aquacult. 20(1):79-80.

SHARP, G., and D. TREMBLAY. 1989. Assessment of *Ascophyllum nodosum* resources in Scotia-Fundy. CAFSAC Res. Doc. 89/1.

SHARP, G., T. AMARATUNGA, and D. TREMBLAY. 1989. Preliminary survey of subtidal mussel resources in Southwest Nova Scotia. CAFSAC Res. Doc. 89/70.

TREMBLAY, M.J., and M.M. SINCLAIR. 1989. Inshore-offshore differences in the distribution of sea scallop larvae: Implications for recruitment. ICES 1989 ENEM/N° 6.

Division des poissons d'eau douce et des anadromes 1988

AMIRO, P.G., J.A. RITTER, and G.L. LACROIX. 1988. Impact of acidification on yield of Atlantic salmon to Canadian waters for rivers of the Atlantic uplands of Nova Scotia. Int. Counc. Explor. Sea (ICES), Working Paper for the Study Group on Acid Rain.

ANON. 1988. Long-term management plan for the diadromous fisheries of the St. Croix River. Can. MS Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1969:73 p.

CONRAD, V. 1988. Engineering report on fish passage and enhancement of Nictaux River, N.S. Freshwater and Anadromous Division Internal Doc. 88/06.

CUTTING, R.E. 1988. Impact of 1987 dry summer (on Atlantic salmon rivers). In: SMRA News, St. Mary's River Assoc., Sherbrooke, N.S., April, 1988, p. 6.

FARMER, G.J., D.K. MACPHAIL, and D. ASHFIELD. 1988. Chemical characteristics of selected rivers in Nova Scotia during 1982. Can. MS Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1961:ix+44 p.

FARMER, G.J. 1988. Predation of juvenile salmon by the double-crested cormorant. In: SMRA News, St. Mary's River Assoc., Sherbrooke, N.S., April, 1988:p. 6.

FARMER, G.J. 1988. Update on St. Mary's River enhancement program. In: SMRA News, St. Mary's River Assoc., Sherbrooke, N.S. April, 1988:p. 6.

JANSEN, H., and V. CONRAD. 1988. Operating procedures for the fish collection, sorting, and trucking facilities at Tinker Dam, Aroostook River, Victoria Co., N.B. Freshwater and Anadromous Division Internal Doc. 88/02.

JESSOP, B.M., and H.A. PARKER. 1988. The alewife in the Gaspereau River, Kings Co., Nova Scotia, 1982-1984. Can. MS Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1992:v+29 p.

MACPHAIL, D.K. 1988. Age of the salmon broodstock collected in the Scotia-Fundy Region during 1987. Freshwater and Anadromous Division Internal Doc. 88/01.

MARSHALL, T.L. 1988. Harvest and recent management of Atlantic salmon in Canada. p. 117-142. In: D. Mills and D. Piggins (eds.). Atlantic Salmon: Planning for the Future. Timber Press, Portland, OR.

MARSHALL, T.L. 1988. Assessment of the Atlantic salmon of the Saint John River, N.B., 1987. CAFSAC Res. Doc. 88/15:19 p.

MARSHALL, T.L., S.F. O'NEIL, R.E. CUTTING, and P.G. AMIRO. 1988. Status of Atlantic salmon stocks of Scotia-Fundy Region, 1987. CAFSAC Res. Doc. 88/59:14 p.

MCLEAN, E.J. 1988. 1988 evaluation of quality criteria for hatchery reared 1+ Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. Freshwater and Anadromous Division Internal Doc. 88/08.

MCLEAN, E.J. 1988. 1988 evaluation of quality criteria for hatchery reared 1+ Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. Freshwater and Anadromous Division Internal Doc. 88/07.

MCLEAN, E.J. 1988. Winter 1987-1988 evaluation of quality criteria for hatchery reared 1+ Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. Freshwater and Anadromous Division Internal Doc. 88/09.

NEWBOULD, K.A. 1988. Results of Atlantic salmon tagging programs 1975-1987. Freshwater and Anadromous Division Interna[1] Doc. 88/03.

O'NEIL, S.F., M. BERNARD, and K.A. NEWBOULD. 1988. 1987 Nova Scotia sport fishing license non-respondents. Freshwater and Anadromous Division Internal Doc. 88/04.

RITTER, J.A. (ed.) 1988. Report of the working group on broodstock development and conservation for the southern New Brunswick aquaculture industry. Freshwater and Anadromous Division Internal Doc. 88/06.

WATT, W.D. 1988. Major causes and implications of Atlantic salmon habitat losses. p. 101-119. In: R.A. Stroud (ed.). Present and Future Atlantic Salmon Management. Atlantic Salmon Federation, Ipswich, MA, and National Coalition for Marine Conservation, Inc., Savannah, GA.

1989

AMIRO, P.G., S.F. O'NEIL, R.E. CUTTING, and T.L. MARSHALL. 1989. Status of the Atlantic salmon stocks of Scotia-Fundy Region, 1988. CAFSAC RES. Doc.89/68:12 p.

AMIRO, P.G., J. MCNEILL, and D.A. LONGARD. 1989. Results of surveys and electrofishing in the Stewiacke River, 1984 to 1988. Can. Data. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 764.

FARMER, G.J., R.L. SAUNDERS, T.R. GOFF, C.E. JOHNSTON, and E.G. HENDERSON. 1989. Some physiological responses of Atlantic salmon (*Salmo salar*) exposed to soft acidic water during smolting. Aquacult. 82:229-244.

FARMER, G.J., T.R. GOFF, and D. ASHFIELD. 1989. Mortality of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) exposed to water withdrawn from the hypolimnion of a headpond on the Mersey River, Nova Scotia. Can. MS Rpt. Fish. Aquat. Sci. 2016:v+8 p.

JESSOP, B.M., and W.E. ANDERSON. 1989. Effects of heterogeneity in the spatial and temporal pattern of juvenile alewife (*Alosa pseudoharengus*) and blueback herring (*A. aestivalis*) density on estimation of an index of abundance. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:1564-1574.

MACPHAIL, D.K. 1989. Age of salmon broodstock collected in the Scotia-Fundy Region during 1988. Freshwater and Anadromous Division Internal Doc. 89-01:68 p.

MARSHALL, T.L. 1989. The big picture from a biological perspective. In: The Saint John River: A Multi-Faceted Fisheries Resource. Proc. of the 14th Annual Meeting of the Atlantic Int. Chapter of the American Fish Society, Sargentville, ME, Sept. 1988.

MARSHALL, T.L. 1989. Assessment of Atlantic salmon of the Saint John River, N.B., 1988. CAFSAC Res. Doc. 89/77:29+vii p.

MCLEAN, E.J. 1989. Quality evaluation of hatchery-reared 1+ Atlantic salmon smolts (*Salmo salar*). Freshwater and Anadromous Division Internal Doc. 89-03:150 p.

MCLEAN, E.J. 1989. Quality evaluation of hatchery-reared 2+ Atlantic salmon smolts (*Salmo salar*). Freshwater and Anadromous Division Internal Doc. 89-02:60 p.

NEWBOULD, K.A. 1989. North American Atlantic salmon tagging programs, 1974-1985. Can. Data Rpt. Fish. Aquat. Sci. 730:v+66 p.

O'NEIL, S.F., T.L. MARSHALL, P.G. AMIRO, and R.E. CUTTING. 1989. Status of Atlantic salmon stocks of Scotia-Fundy Region, 1989. CAFSAC Res. Doc. 89/80:13 p.

O'NEIL, S.F., K. NEWBOULD, and R. PICKARD. 1989. 1987 Atlantic salmon sport catch statistics—Maritime Provinces. Can. Data Rpt. Fish. Aquat. Sci. 770:v+73 p.

RITTER, J.A. (ed.). 1989. Report of the working group on Atlantic salmon (*Salmo salar*) broodstock development and conservation for the southern New Brunswick aquaculture industry. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1678:24 p.

RITTER, J.A. 1989. Marine migration and natural mortality of North American Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Can. MS Rpt. Fish. Aquat. Sci. 2041:x+136 p.

RUGGLES, C.P., and T.H. PALMETER. 1989. Fish passage mortality in a tube turbine laser. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 2041:x+136 p.

WATT, W.D. 1989. Major causes and implications of Atlantic salmon habitat losses. p. 101-112. In: R.A. Stroud (ed.). Present and Future Atlantic Salmon Management. Atlantic Salmon Federation, Ipswich, MA, and National Coalition for Marine Conservation, Inc., Savannah, GA.

WATT, W.D. 1989. The impact of habitat damage on Atlantic salmon (*Salmo salar*) catches. Can. Spec. Pub. Fish. Aquat. Sci. 105:154-163.

WATT, W.D. 1989. Fish passage considerations relating to the re-establishment of anadromous fisheries in the St. Croix River. International Joint Commission, 1988.

DIRECTION DES SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES 1988

ADDISON, R.F., F.R. ENGELHARDT, and D. STONE. 1988. Approaches to environmental problems in the Canadian Arctic. Proc. of the Int. Bar Assoc., Section on Environmental Law, Auckland, N.Z., Oct. 1988.

AMOS, C.L., and K.T. TEE. 1988. Suspended sediment transport process in Cumberland Basin, Bay of Fundy. (Abstract) A.G.U. Chapman Conference of Sediment Transport Processes in Estuaries, Bahia, Argentina.

ANDERSON, L.G., E.P. JONES, K.P. KOLTERMANN, J.H. SWIFT, and D.W.R. WALLACE. 1988. A hydrographic section across the Nansen Basin. (Abstract) Proc., 1988 Ocean Sciences Meeting, EOS 68:1787.

ANDERSON, R.J., and S.D. SMITH. 1988. Eddy flux measurements during HEXMAX. (Abstract) Fall meeting, American Geophysical Union, EOS 69(44):1988.

ANDERSON, R.J., and S.D. SMITH. 1988. HEXMAX operations and calibrations of Lyman-Alpha humidiometers by the Bedford Institute of Oceanography. Proc. of the NATO Advanced Workshop, Dellenhove, Epe, The Netherlands, April 25-29, 1988. Technical Rpt., Dept. of Atmospheric Sciences, AK-40, University of Washington. HEXOS Contribution 16:22-28.

ARMI, L., D. HEBERT, N. OAKEY, J. PRICE, P. RICHARDSON, T. ROSSBY, and B. RUDDICK. 1988. The history and decay of a mediterranean salt lens. Nature 33:649-651.

ARMI, L., D. HEBERT, N. OAKEY, J. PRICE, P. RICHARDSON, T. ROSSBY, and B. RUDDICK. 1988. The history of a northeast Atlantic salt lens of Mediterranean origin. In: W. Simmons (ed.). Report of the Organization for Cooperative Economic Development, Nuclear Energy Agency

BENNETT, E.B. 1988. On the physical limnology of Georgian Bay. Hydrobiologia 163:21-34.

BEWERS, J.M. 1988. River water quality: a marine perspective. p. 13-15. The Siren 38, Oct. 1988.

BEWERS, J.M. 1988. Sea dumping of radioactive wastes. Nuclear Journal of Canada 1(4):290-301.

BUGDEN, G.L. 1988. Oceanographic conditions in the deeper waters of the Gulf of St. Lawrence in relation to local and oceanic forcing. NAFO SCR Document 88/87:36 p.

CAI, D.-L., F.C. TAN, and J.M. EDMOND. 1988. Sources and transport of particulate organic carbon in the Amazon River and Estuary. Est. Coast. Shelf Sci. 26:1-14.

CLARKE, R.A., and A.R. COOTE. 1988. The formation of Labrador Sea Water: III. The evolution of oxygen and nutrient concentration. J. Phys. Oceanog. 18(3):469-480.

COCHRANE, N.A. 1988. The application of image analysis techniques to the interpretation of acoustic survey data. p. 63-65. In: DFO 1988 Hydro-acoustics Workshop Proc.. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1641.

COCHRANE, N.A., J.W.E. WHITMAN, and D.J. BELLIVEAU. 1988. Doppler current profilers. In: Dept. of Fisheries and Oceans Hydroacoustics Workshop Proc.. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1641:89-92.

DEYOUNG, B., and C.L. TANG. 1988. Current meter, CTD, and meteorological observations on the northern Grand Banks (47°N, 48°W) for April-October 1986. Can. Data Rpt. Hyd. Ocean Sci. 63:iv+94 p.

DAWSON, R., J.M. BEWERS, N.R. ANDERSEN, and G. KULLENBERG. 1988. Global strategies for the assessment of pollution in marine environments and progress achieved in the IOC-GIPME programming (AQT 00306). Aquat. Toxic. 11:345-356.

DEYOUNG, B., and C.L. TANG. 1988. A comparison of observed and fleet numerical oceanographic center winds on the Grand Banks. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 101:iv+30 p.

DOBSON, F.W., W. PERRIE, and B. TOULANY. 1988. On the deep-water fetch laws for wind-generated surface gravity waves. (Abstract) Annual CMOS Meeting, May 1988.

DOBSON, F.W., and S.D. SMITH. 1988. Bulk models of solar radiation at sea. Q. J. Roy. Met. Soc. 114:165-182.

DRINKWATER, K., and B. PETRIE. 1988. Physical oceanographic observations in the Cardigan Bay Region of Prince Edward Island, 1982-1987. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 110:iv+36 p.

DRINKWATER, K.F., and R.W. TRITES. 1988. Overview of environmental conditions in the Northwest Atlantic in 1986. p. 43-55. NAFO Science Council Studies 12.

DRINKWATER, K.F. 1988. The effect of fresh-water discharge on the marine environment. p. 415-430. In: W. Nicholaisicuk and F. Quinn (eds.). Proc. of Symp. on Interbasin Transfer of Water: Impacts of Research Needs for Canada. Saskatoon, Sask., Nov. 9-10, 1987.

DRINKWATER, K.F. 1988. On the mean and tidal currents in Hudson Strait. Atmosphere Ocean 26(2):252-266.

EASTON, M.D.L., and R.K. MISRA. 1988. Mathematical representation of crustacean growth. Journal du conseil 4:61-72.

FRANK, K.T., R.I. PERRY, K.F. DRINKWATER, and W.H. LEAR. 1988. Changes in the Fisheries of Atlantic Canada Associated with Global Increases in Atmospheric Carbon Dioxide: A Preliminary Report. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1652:v+52 p.

GREENBERG, D.A., and B.D. PETRIE. 1988. The mean barotropic circulation on the Newfoundland Shelf and Slope. J. Geo. Res. 93(C12):635-648.

GREENBERG, D.A. 1988. Reply to comments of R. Sproule on "Modeling tidal power". Scient. Amer. 258(3):7.

GREGORY, D.N. 1988. Tidal current variability on the Scotian Shelf and Slope. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 109:iv+38 p.

GREGORY, D.N., and P.C. SMITH. 1988. Current statistics of the Scotian Shelf and Slope. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 106:iv+197 p.

GREGORY, D.N., E. VERGE, D. DOBSON, and C. SMITH. 1988. Long-term temperature monitoring program 1987: Scotia-Fundy, Gulf of St. Lawrence, and Newfoundland. Can. Data Rpt. Hyd. Ocean Sci. 65:vii+497 p.

HARDING, G.C., and R.W. TRITES. 1988. Dispersal of *Homarus americanus* larvae in the Gulf of Maine from Browns Bank. Can. J. Fish. Aqua. Sci. 45(1):416-425.

HARGRAVE, B., and D.J. LAWRENCE. 1988. Bibliography for studies in Halifax Harbour and Bedford Basin. Unpublished BIO report.

HAYA, K., and L.E. BURRIDGE. 1988. Uptake and excretion of organochlorine pesticides by nereis virens under normoxic and hypoxic conditions. Bull. Env. Cont. Toxic. 40:170-177.

HEBERT, D., N. OAKEY, B. RUDDICK, L. ARMI, J. PRICE, P.L. RICHARDSON, AND T. ROSSBY. 1988. CTD data collected during the survey of a Mediterranean salt lens. Can. Data Rpt. Hyd. Ocean Sci. 61:vi+379 p.

HENDRY, R. 1988. A simple model of Gulf Stream thermal structure with application to the analysis of moored measurements in the presence of mooring motion. J. Atmos. Ocean. Tech. 5(2):328-339.

HERMAN, A.W. 1988. Simultaneous measurement of zooplankton and light attenuance with a new optical plankton counter. Cont. Shelf Res. 8(2):205-221.

HORNE, E., and B. PETRIE. 1988. Mean position and variability of the sea surface temperature front east of the Grand Banks. Atmosphere Oceans 26(3):321-328.

IKEDA, M. 1988. A model study of wind- and buoyancy-driven coastal circulation. J. Geo. Res. 93(C5):5078-5092.

IKEDA, M. 1988. A two-dimensional coupled ice-ocean turbulent closure mode in the marginal ice zone. (Abstract) Canadian Meteorological and Oceanographic Society, 22nd Annual Congress, June 1988.

IKEDA, M., AND K. LYGRE. 1988. Eddy-current interactions using a quasi-geostrophic model. (Abstract) 20th Int. Liege Colleq. on Ocean Hydrodynamics, May 1988.

IKEDA, M., T. YAO, and G. SYMONDS. 1988. Simulated fluctuations in annual Labrador Sea ice cover. Atmosphere Ocean 26(1):16-39.

IKEDA, M. 1988. A three-dimensional coupled ice-ocean model of coastal circulation. J. Geo. Res. 90(C9):10731-10748.

ISENOR, A. 1988. An analysis of satellite imagery in the Grand Banks Region. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 111:iv+62 p.

KRANCK, K., and T.G. MILLIGAN. 1988. Macroflocs from diatoms: *in situ* photography of suspended particles in Bedford Basin, N.S. Mar. Ecol. Prog. Ser. 44:183-189.

LAZIER, J.R.N. 1988. Temperature and salinity changes in the deep Labrador Sea: 1962-1986. Deep Sea Res. 35(8):1247-1253.

LAZIER, J.R.N. 1988. Lower temperature in the Labrador Current and in the atmosphere during the early 1970s and 1980s. NAFO SCR Doc. 88/77.

LAZIER, J.R.N. 1988. Temperature and salinity increases in the Denmark Strait overflow water in 1986. (Abstract) Trans. Amer. Geo. Union 68(50).

LEONARD, J.D., N.F. CREWE, and R. POCKLINGTON. 1988. An evaluation of methods for the extraction of dissolved organic compounds from sea water. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1606.

LEVY, E.M. 1988. Petroleum residues in the waters of the Gulf of St. Lawrence. p. 139-157. In: P.M. Strain (ed.). Chemical Oceanography in the Gulf of St. Lawrence. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 220.

LEVY, E.M., and J.N. SMITH. 1988. A geochronology for PAH contamination in the sediments of the Saguenay Fjord. Presented at Joint Chemical Conference, Toronto, June 5-10, 1988.

LEVY, E.M., K. LEE., K.S. SAUNDERS, and S.E. COBANLI. 1988. The distribution of petroleum residues in near-shore sediments from Atlantic Canada. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1612:iv+169 p.

LEVY, E.M., and K. LEE. 1988. Potential contribution of natural hydrocarbon seepage to benthic productivity and the fisheries of Atlantic Canada. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:349-352.

LIVELY, R.R. 1988. Current meter, meteorological, sea-level, and hydrographic observations for the CASP experiment off the coast of Nova Scotia, November 1985 to April 1986. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 100:vii+428 p.

LODER, J.W., K.F. DRINKWATER, E.P.W. HORNE, and N.S. OAKEY. 1988. The Georges Bank frontal study: an overview with preliminary results. (Abstract) EOS 69:1283.

LODER, J.W., and C.K. ROSS. 1988. Moored current and hydrographic measurements on the southeast shoal of the Grand Bank in 1986 and 1987. NAFO SCR Doc. 88/61:20 p.

LODER, J.W., and C.K. ROSS. 1988. Interannual variability in temperature and salinity on the Southeast Shoal of the Grand Bank. NAFO SCR Doc. 88/80:22 p.

LODER, J.W., C.K. ROSS, and P.C. SMITH. 1988. A space- and time-scale characterization of circulation and mixing over submarine banks, with application to the northwestern Atlantic continental shelf. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45(11):1860-1885.

LORING, D.H., and R.T.T. RANTALA. 1988. An intercalibration exercise for trace metals in marine sediments. Marine Chemistry 24:13-28.

LORING, D.H. 1988. Trace metal geochemistry of the Gulf of St. Lawrence sediments. p. 99-122. In: P.M. Strain (ed.). Chemical Oceanography in the Gulf of St. Lawrence. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 220.

MCLELLAND, G., R.K. MISRA, and D.J. MARTELL. 1988. On temporal trends and geographical variations of prevalence and abundance of larval seaworm (*Pseudoterranova decipiens*) in the fillets of American plaice (*Hippoglossoides platessoides*) in eastern Canada. A working paper presented to the Int. Seaworm Workshop, Halifax, N.S., June 1988.

MCNUTT, L., S. ARGUS, F. CARLEY, B. HOLT, J. CRAWFORD, (*, TANG, A.L. GRAY, and C. LIVINGSTONE. 1988. The Labrador Ice Margin Experiment, March 1987—a pilot experiment in anticipation of RADARSAT and ERS 1 data. EOS. Trans. Amer. Geophys. Union 69:634-635, 643.

MIDDLETON, J.F., and D.G. WRIGHT. 1988. Shelf wave scattering due to a longshore jump in topography. J. Phys. Oceanog. 18(2):230-242.

MISRA, R.K. 1988. Comparing vectors of adjusted means when covariance matrices are unequal. Biometrical J. 30(2):203-208.

MISRA, R.K., J.F. UTHE, and D.B. SWETNAM. 1988. Examination of ICES contaminant data sets: Sweden-Kattegat (4301) and Belgium Coast (3102) for time trends. Annex 3. ICES C.M. 1988/E:27.

MISRA, R.K., J.F. UTHE, and W. VYNCKS. 1988. Introducing a weighted procedure of analysing for time trends in contaminant levels in CMP data: application to cod and flounder data of the Belgian Coast, 1978-1985. ICES C.M. 1988/E:6, 12 p.

MISRA, R.K., J.F. UTHE, C.J. MUSIAL, and C.L. CHOU. 1988. The analysis of time trends in contaminant levels in Canadian Atlantic cod (*Gadus morhua*). 5. Time trends 1977-1985, employing a multivariate linear model. ICES C.M. 1988/E:4, 6 p.

MISRA, R.K., J.F. UTHE, J. VAN DER MEER, and A. JENSEN. 1988. Time trend analyses of contaminant levels in cod and flounder of the Belgian coast. Annex 4. ICES C.M. 1988/E:27.

MISRA, R.K., and JAAP VAN DER MEER. 1988. ICES intercalibration of CB's in marine mammals—1st step: a commentary. ICES–WGSATM 1988/10/2 (Annex 8).

MUSIAL, C.J., and J.F. UTHE. 1988. Stability of residual levels of polychlorinated biphenyls in cold-extracted herring oil. Bull. Env. Cont. Toxic. 40:660-664.

MYERS, R.A., S.A. AKENHEAD, and K.F. DRINKWATER. 1988. The North Atlantic oscillation and the ocean climate of the Newfoundland Shelf. NAFO SCR Doc. 88/65:23 p.

MYERS, R.A., and K.F. Drinkwater. 1988. Wind-driven currents and larval fish survival. NAFO SCR Doc. 88/66.

NELSON, R.W.P., K.M. ELLIS, and J.N. SMITH. 1988. Environmental monitoring report for the Point Lepreau, New Brunswick, Nuclear Generating Station—1985, 1986. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 107:vi+175 p.

OAKEY, N.S. 1988. EPSONDE: An instrument to measure turbulence in the deep ocean. IEEE J. Ocean. Eng. 13:124-128.

OAKEY, N.S. 1988. BIO Cruise Report 88-023: Georges Bank, June 23-July 15, 1988.

OAKEY, N.S. 1988. BIO Cruise Report 88-036: Georges Bank, Sept. 29-Oct. 18, 1988.

OAKEY, N.S. 1988. Estimate of mixing inferred from temperature and velocity microstructure. Small-scale turbulence and mixing in the ocean. p. 239-247. In: J.C. Nihoul and B. Jamart (eds.). Proc. of the 19th Int. Liege Symp.

OAKEY, N.S. 1988. Velocity and temperature microstructure measurements during FASINEX using EPSONDE. (Abstract) Proc. of 7th Conference on Ocean-Atmosphere Interaction 246.

OOST, W.A., S.D. SMITH, and K. KATSAROS. 1988. Overview of humidity exchange main

experiment (HEXMAX). (Abstract) Fall Meeting, American Geophysical Union, EOS 69(44):1988.

GOST, W.A., S.D. SMITH, and K.B. KATSAROS. (eds.). 1988. Humidity exchange over the sea main experiment (HEXMAX) analysis and interpretation. Proc. of the NATO Advanced Workshop, Dellenhove, Epe, The Netherlands, April 25-29, 1988:243 p.

PETERSON, I.K., and G. SYMONDS. 1988. Ice flow trajectories off Labrador and eastern Newfoundland: 1985-1987. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 104:v+101 p.

PETRIE, B., C. GARRETT, and B. TOULANY. 1988. The transport of water, heat, and salt through the Strait of Belle Isle. Atmosphere Ocean 29(2):234-251.

PETRIE, B., and D. WARNELL. 1988. Oceanographic and meteorological observations from the Hibernia Region of Newfoundland Grand Banks. Can. Data Rpt. Hyd. Ocean Sci. 69:iv+270 p.

PETRIE, B., S. AKENHEAD, J. LAZIER, and J. LODER. 1988. The cold intermediate layer on the Labrador and Northeast Newfoundland Shelves, 1978-86. NAFO Science Council Studies 12:57-69.

POCKLINGTON, R. 1988. Organic matter in the Gulf of St. Lawrence. p. 49-58. In: P.M. Strain (ed.). Chemical Oceanography in the Gulf of St. Lawrence. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 220.

POLARSTERN SHIPBOARD SCIENTIFIC PARTY (including E.P. Jones). 1988. Breakthrough in Arctic deep sea research: the R/V *Polarstern* Expedition 1987. EOS 69(665):676-678.

PRINSENBERG, S.J., and E.B. BENNETT. 1988. Analysis of current time series and current profile data from Peel Sound, Canadian Arctic. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 102:vii+101 p.

PRINSENBERG, S.J. 1988. Vertical variation of tidal currents in shallow landfast ice-covered regions. (Abstract) Presented at Oceans Sciences Meeting, Jan. 18-22, New Orleans.

PRINSENBERG, S.J. 1988. Sea ice program off Labrador and Newfoundland. (Poster) Presented at 22nd Annual Congress of CMOS, June 1988.

PRINSENBERG, S.J. 1988. Book review of "The physical nature and structure of ocean fronts" by K.N. Fedorov. Geojournal 16(3):323.

PRINSENBERG, S.J. 1988. Ice-cover and ice-ridge contributions to the freshwater contents of Hudson Bay and Foxe Basin. Arctic 41(1):6-11.

PRINSENBERG, S. 1988. Damping and phase advance of the tide in western Hudson Bay by the annual ice cover. J. Phys. Oceanog. 18(11):1744-1751.

PROUSE, N.J., T.W. BOWELL, P. WOO, J.F. UTHE, R.F. ADDISON, D.H. LORING, R.T.T. RANTALA, M.E. ZINCK, and D. PEER. 1988. Annapolis Basin soft-shell clam (*Mya arenaria*) mortality study: A summary of field and laboratory investigations. Can. MS Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1987:vii+19 p.

ROSS, C.K., J.W. LODER, and M.J. GRACA. 1988. Moored current and hydrographic measurements on the Southeast Shoal of the Grand Bank, 1986 and 1987. Can. Data Rpt. Hyd. Ocean Sci. 71:vi+132 p.

SANDSTROM, H. 1988. Turbulence at the shelf break-front. J. Navigation 41(3):438-439.

SANGALANG, G.B., and H.C. FREEMAN. 1988. In-vitro biosynthesis of 17a,20b-dihydroxy-4-pregnen-3-one by the ovaries, testes, and head kidneys of the Atlantic salmon (*Salmo salar*). Gen. Comp. Endocrinol. 69:406-415.

SANGALANG, G.B., H.C. FREEMAN, J.F. UTHE, and L.S. SPERRY. 1988. Studies on the mitigation of acid precipitation-induced effects on Atlantic salmon (*Salmo salar*)—1987 experiment. ICES C.M. 1988/M:3.

SIVIBBA RAO, D.V., M.A. QUILLIAM, and R. POCKLINGTON. 1988. Domoic acid—a neurotoxic amino-acid produced by the marine diatom *Nitzschia pungens* in culture. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:2076-2079.

SKEI, J.M., D.H. LORING, and R.T.T. RANTALA. 1988. Partitioning and enrichment of trace metals in a sediment core from Framvaren, Norway. Marine Chemistry 23:269-281.

SMITH, J.N. 1988. Pollution history and paleoclimate signals in sediments of the Saguenay Fjord. p. 123-138. In: P.M. Strain (ed.). Chemical Oceanography in the Gulf of St. Lawrence. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 220.

SMITH, S.D. 1988. Review of the oceanography and micrometeorology of arctic leads and polynyas. (Abstract) Fall meeting, American Geophysical Union, EOS 69(44):1988.

SMITH, S.D. 1988. Coefficients for sea surface wind stress, heat flux, and wind profiles as a function of wind speed and temperature. J. Geo. Res. 93(C12):15467-15472.

SMITH, S.D. 1988. HEXOS programme overview. p. 4-6. Proc. of NATO Advanced Workshop, Dellenhove, Epe, The Netherlands, April 25-29, 1988, HEXOS Contribution N° 16.

SMITH, P.C., and H. SANDSTROM. 1988. Physical processes at the shelf edge in the Northwest Atlantic. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 8:5-13.

SMITH, S.D., and R.J. ANDERSON. 1988. Eddy flux measurements during HEXMAX. p. 14-21. Proc. of NATO Advanced Workshop, Dellenhove, Epe, The Netherlands, April 25-29, 1988, HEXOS Contribution N° 16.

STERNBERG, R.W., K. KRANCK, D.A. CACCHIONE, and D.E. DRAKE. 1988. Suspended sediment transport under estuarine tidal conditions. Sedim. Geol. 57:257-272.

STODDART, R., and R.A. CLARKE. 1988. Oceans: The unknown factor. Canadian Research 21(5):16-17.

STRAIN, P.M. (ed.). 1988. Chemical oceanography in the Gulf of St. Lawrence. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 220:ix+190p.

STRAIN, P.M. 1988. Chemical oceanography in the Gulf: present and future. p. 159-173. In: P.M. Strain (ed.). Chemical Oceanography in the Gulf of St. Lawrence. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 220.

STRAIN, P.M. 1988. A history of chemical oceanographic research in the Gulf of St. Lawrence. BIO Review '87.

STRAIN, P.M. 1988. Chemical Oceanography in the Gulf of St. Lawrence: Geographic, physical oceanographic, and geologic setting. p. 1-14. In: P.M. Strain (ed.). Chemical Oceanography in the Gulf of St. Lawrence. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 220.

SYVITSKI, J.P.M., J.N. SMITH, E.A. CALABRESE, and B.P. BOUDREAU. 1988. Basin sedimentation and the growth of prograding deltas. J. Geo. Res. 93(C6):6895-6908.

TAN, F.C. and P.M. STRAIN. 1988. Stable isotope studies in the Gulf of St. Lawrence. p. 59-77. In: P.M. Strain (ed.). Chemical Oceanography in the Gulf of St. Lawrence. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 220.

TAN, F.C., D. CAI, and D.L. RODDICK. 1988. Oxygen isotope studies on sea scallops, *Placopecten magellanicus*, from Browns Bank, Nova Scotia. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45(8):1378-1386.

TANG, C.L. 1988. Upwelling at the ice edge off the Newfoundland coast. (Abstract) 22nd Annual Congress of CMOS, June 1988.

TANG, C.L., and B. DEYOUNG. 1988. Simulation of baroclinic inertial currents in the Grand Banks. (Abstract) Spring Meeting, American Geophysical Union, May 16-20, Baltimore, MD.

TEE, K.T., and D. LEFAIVRE. 1988. Three-dimensional modelling of the tidally induced residual current off southwest Nova Scotia. (Abstract) Int. Conference on Physics of Estuaries and Bays, Asilomar, CA, Nov. 29-Dec. 2.

TEE, K.-T., P.C. SMITH, and D. LEFAIVRE. 1988. Estimation and verification of tidally induced residual currents. J. Phys. Oceanog. 18(10):1415-1434.

TEE, K.-T. 1988. Modelling of tidally induced residual currents. p. 133-148. In: B. Kjerfve (ed.). Hydrography and Estuaries, Vol. I. CRC Press.

THOMPSON, K.R., R.H. LOUCKS, and R.W. TRITES. 1988. Sea surface temperature variability in the shelf-slope region of the Northwest Atlantic. Atmosphere Ocean 26(2):282-299.

THURMAN, E.M., G.R. AIKEN, M. EWALD, W.R. FISCHER, U. FUERSTNER, A.H. HACK, R.F.C. MANTOURA, J.W. PARSONS, R. POCKLINGTON, F.J. STEVENSON, R.S. SWIFT, and B. SZPAKOWSKA. 1988. Isolation of soil and aquatic humic substances. p. 31-43. In: P.M. Frimmel and R.F. Christman (eds.). Humic Substances and Their Role in the Environment. Dahlem Workshop Reports.

TOPLISS, B.J., L. PAYZANT, and P.C.F. HURLEY. 1988. Monitoring offshore water quality from space. p. 1399-1401. Proc. of IGARSS '88 Symp., Edinburgh, Scotland, Sept. 13-16, 1988.

UTHE, J.F., and C.L. CHOU. 1988. Factors affecting the measurement of trace elements in marine biological tissue. Science of the Total Environment 71:67-84.

UTHE, J.F., and C.J. MUSSIAL. 1988. Intercomparative study on the determination of polynuclear aromatic hydrocarbons in marine shellfish tissue. J. Assoc. Official Analyt. Chemists 71(2):363-368.

UTHE, J.F., C.J. MUSSIAL, and R.K. MISRA. 1988. Multi-laboratory study of measurement of chlorobiphenyls and other organochlorines in fish oil. J. Assoc. Official Analyt. Chemists 71(2):369-372.

UTHE, J.F., and ZITKO, V. 1988. An overview of marine environmental quality issues on the Atlantic Coast of Canada. p. 199-207. In: P.G. Wells and J. Gratwick (eds.). Canadian Conference on Marine Environmental Quality Proc. Int. Institute for Transportation and Ocean Policy Studies, Halifax, N.S.

UTHE, J.F. 1988. Report of the 1988 meeting of the Working Group on Statistical Aspects of Trend Monitoring. ICES C.M. 1988/E:27.

VANDERMEULEN, J.H. 1988. PAH and heavy metal pollution of the Sydney Estuary: Summary and review of studies to 1987. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 108:iv+48 p.

WALLACE, D.W.R., and J.R.N. LAZIER. 1988. Anthropogenic chlorofluoromethanes in newly formed Labrador Sea water. Nature 332:61-63.

WALLACE, D.W.R., R.M. MOORE, and E.P. JONES. 1988. Ventilation of the Arctic Ocean cold halocline: rates of diapycnal and isopycnal transport, oxygen utilization and primary production inferred using chlorofluoromethane distributions. Deep Sea Res. 34(11): 1957-1979.

WHITMAN, J.W.E., N.A. COCHRANE, D.J. BELLIVEAU, J.-G. DESSUREAULT. 1988. Experience with ADCP and recommendations for WOCE. Bedford Institute ADCP Development Group. p. 24-32. In: E. Firing (ed.). Report from the WOCE/NOAA Workshop on ADCP Measurements, Austin, TX, March 1-2, 1988. U.S. WOCE Planning Report N° 13.

WRIGHT, D.G., and J.W. LODER. 1988. On the influences of non-linear bottom friction on the topographic rectification of tidal models. Geoph. Astroph. Fluid Dyn. 42:227-245.

WRIGHT, D.G., J.R.N. LAZIER, and W. ARMSTRONG. 1988. Moored current and pressure data from the Labrador/Newfoundland Shelf, June 1985-July 1987. Can. Data Rpt. Hyd. Ocean Sci. 62:v+258 p.

WRIGHT, D.G., B. DEYOUNG, and D.A. GREENBERG. 1988. Description and dynamical interpretation of low-frequency motion over the Labrador/Newfoundland Shelf. (Abstract) Proc. of 22nd Annual CMOS Congress. Atmosphere-Ocean 84.

WRIGHT, D., J. HAINES, K. THOMPSON, and D. GREENBERG. 1988. On the generation and propagation of low-frequency motion over the Labrador/ Newfoundland Shelf. (Abstract) EOS 69(44):1070.

YEATS, P.A. 1988. The distribution of trace metals in ocean waters. Science of the Total Environment 72:131-140.

YEATS, P.A. 1988. Manganese, nickel, zinc and cadmium distributions at the Fram 3 and CESAR ice camps in the Arctic Ocean. Oceanologica Acta 11(4):383-388.

YEATS, P.A., and J.M. BEWERS. 1988. Modelling of geochemical processes in the coastal zone. p. 1-22. In: ICES Cooperative Research Report 158.

YEATS, P.A. 1988. Nutrients. p. 29-48. In: P.M. Strain (ed.). Chemical Oceanography in the Gulf of St. Lawrence. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 220.

YEATS, P.A. 1988. Distribution and transport of suspended particulate matter. p. 15-28. In: P.M. Strain (ed.). Chemical Oceanography in the Gulf of St. Lawrence. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 220.

YEATS, P.A. 1988. Processes affecting trace metal fluxes through the St. Lawrence estuary. ICES C.M. 1988/E:5, 13 p.

YEATS, P.A. 1988. Trace metals in the water column. p. 79-98. In: P.M. Strain (ed.). Chemical Oceanography in the Gulf of St. Lawrence. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 220.

ZITKO, V. 1988. Versatile reading of numeric files. ACCESS July/August:38-40.

ZITKO, V. 1988. Environmental impact of organic chemicals. p. 41-64. In: P.J. Newman and A.R. Agg (eds.). Environmental Protection of the North Sea. Heinemann Publ.

ZITKO, V. 1988. Multivariate classification of chlorobiphenyls according to enzyme induction. Chemosphere 17:1111-1116.

ZITKO, V. 1988. Display of the composition of polychlorinated biphenyls. Analytical Chemistry 60:1998-2000.

ZITKO, V. 1988. Graphical display of environmental quality criteria. Science of Total Environment 72:217-220.

ZITKO, V. 1988. Classification of byzantine glass samples by principal component analysis. Fresenius Zeitschrift für Analytische Chemie 331:614-615.

1989

ADDISON, R.F. 1989. Organochlorines and marine mammal reproduction. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46(2): 360-368.

ADDISON, R.F., F.R. ENGELHARDT, and D. STONE. 1989. Approaches to environmental problems in the Canadian Arctic. Proc. of Seminar on Environmental Law.

ADDISON, R.F. and J.E. STEWART. 1989. Domoic acid and the eastern Canadian molluscan shellfish industry. Aquacult. 77:263-269.

AMOS, C.L. and K.-T. TEE. 1989. Suspended sediment transport processes in Cumberland Basin, Bay of Fundy. J. Geo. Res 94(C10):14407-14418.

ANDERSON, C., F. DOBSON, W. PERRIE, F. SCHWING, P. SMITH, and B. TOULANY. 1989. Storm response in the coastal ocean: the oceanographic component of the Canadian Atlantic Storms Program (CASP). EOS 70(18):562-572.

ANDERSON, C., and P.C. SMITH. 1989. Oceanographic observations on the Scotian Shelf during CASP. Atmosphere Ocean 27(1):130-156.

ANDERSON, L.G., E.P. JONES, K.P. KOLTERMANN, P. SCHLOSSER, J.H. SWIFT, and D.W.R. WALLACE. 1989. The first oceanographic section across the Nansen Basin in the Arctic Ocean. Deep Sea Res. 36:475-482.

ANDERSON, L.G., D. DYRSSEN, and E.P. JONES. 1989. Excess total carbonate in Arctic Ocean surface waters: a result of atmospheric CO_2 input. Rap.P. -v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer 188:73.

ANDERSON, C., F.W. DOBSON, W. PERRIE, P. SMITH, and B. TOULANY. 1989. Storm response in the coastal ocean. EOS 70:562-563; 570-572.

ARMI, L., D. HEBERT, N. OAKEY, J.F. PRICE, P.L. RICHARDSON, H.T. ROSSBY, and B. RUDDICK. 1989. Two years in the life of a Mediterranean salt lens. J. Phys. Oceanog. 19:354-370.

BATES, S.S., C.J. BIRD, A.S.W. DEFREITAS, and R. FOCKLINGTON. 1989. Pennate diatom (Nitzschia pungens) as the primary source of domoic acid, a toxin in shellfish from eastern Prince Edward Island, Canada. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:1203-1215.

BELLIVEAU, D.J., G.L. BUGDEN, and S.G.K. MELROSE. 1989. Measuring ice velocity—from below. SeaTechnology 30(2):10-14.

BELLIVEAU, D.J., G.L. BUGDEN, B.M. EID, and C.M. MORTON. 1989. Surface ice velocity measurements using bottom-mounted acoustic doppler current profilers. (Abstract) Workshop/Symp. on "The Gulf of St. Lawrence: Small Ocean or Big Estuary?", Maurice Lamontagne Institute, Mont-Joli, Quebec, March 14-17, 1989.

BELLIVEAU, D.J., and J.W.E. WHITMAN. 1989. Design of an acoustic doppler current profiler test unit. Proc. of Oceans '89 Conference, Seattle, WA.

BEWERS, J.M., and P.A. YEATS. 1989. Transport of river-derived metals through the coastal zone. Neth. J. Sea Res. 23:359-368.

BONARDELLI, J.C., K. DRINKWATER, and J.H. HIMMELMAN. 1989. Low-frequency current and temperature variability in the Bay of Chaleur. (Abstract) Workshop/Symp. on "The Gulf of St. Lawrence: Small Ocean or Big Estuary?", Maurice Lamontagne Institute, Mont-Joli, Quebec, March 14-17, 1989.

BROOKE, J., G. LEBANS, and R.A. CLARKE. 1989. ICETOW—A system to operate towed bodies through broken ice. p. 1514-1519. Proc. IEEE Oceans '89 Conference, Vol. 5.

BUGDEN, G.L. 1989. Low-frequency changes in the deeper waters of the Gulf of St. Lawrence. (Abstract) Workshop/Symp. on "The Gulf of St. Lawrence: Small Ocean or Big Estuary?", Maurice Lamontagne Institute, Mont-Joli, Quebec, March 1989.

BURRIDGE, L.E., and K. HAYA. 1989. The use of fugacity model to assess the risk of pesticides to the aquatic environment on Prince Edward Island. p. 193-203. In: J.O. Nriagu and J.S.S. Lakshmwarayana (eds.). Aquatic Toxicology and Waste Quality Management. John Wiley and Sons, NY.

CAI, D.L., F.C. TAN, and J.M. EDMOND. 1989. Carbon isotope geochemistry of the Amazon River and Estuary. Acta Oceanologica Sinica 11:456-469 (in Chinese).

CAMPANA, S.E., K.T. FRANK, P.C.F. HURLEY, P.A. KOELLER, F.H. PAGE, and P.C. SMITH. 1989. Survival and abundance of young Atlantic cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) as indicators of yearclass strength. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):171-182.

CARR, M.E., S.D. MCLEAN, N.S. OAKEY, and M.R. LEWIS. 1989. Vertical mixing parameters along 150°W in the tropical Pacific during the WEC88 cruise: contributions of diurnal cycling and wind stress. (Abstract) The Oceanographic Society, Monterey, CA.

CARSEY, F., S. DIGBY ARGUS, M. COLLINS, B. HOLT, C.A. LIVINGSTONE, and C.L. TANG. 1989. Overview of LIMEX '87 ice observations. IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens. 27(5):468-482.

CLARKE, R.A. 1989. Review of "The Nordic Seas" by Burton G. Hurdle (ed.). Springer-Verlag, NY. Arctic 41(3):245.

CLARKE, R.A., and E.P. JONES. 1989. The Arctic Ocean: Its role in the global climate engine. Symp. on the Arctic and Global Change. Organized by the Climate Institute, Ottawa, Oct. 25-27, 1989.

DALZIEL, J.A., P.A. YEATS, and D.H. LORING. 1989. Dissolved and particulate trace metal distributions in Halifax Harbour. p. 46-53. In: H.B. Nicholls (ed.). Investigations of marine environmental quality in Halifax Harbour. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1693.

DEYOUNG, B., and C.L. TANG. 1989. An analysis of fleet numerical oceanographic center winds on the Grand Banks. Atmosphere Ocean 27(2):414- 427.

DOBSON, F.W. 1989. The WOTAN winds from CASP. (Abstract) CMOS Annual Conference, Rimouski, Quebec, May 29-June 2, 1989.

DOBSON, F.W., and B. TOULANY. 1989. Wind-wave coupling. (Abstract) LEWEX Symp., April 1989, Applied Physics Lab, Johns Hopkins University, Baltimore, MD.

DOBSON, F.W. 1989. Calibrating wave prediction models. (Abstract) APICS Physics Lecture: Institute for Marine Dynamics, NRC, St. John's, Nfld., Nov. 1989. APICS Secretariat, Memorial University, St. John's, Nfld.

DOBSON, F., W. PERRIE, and B. TOULANY. 1989. On the deep-water fetch laws for wind-generated surface gravity waves. p. 397-407. In: Second Int. Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Vancouver, B.C., April 1989.

DOBSON, F., W. PERRIE, and B. TOULANY. 1989. On the deep-water fetch laws for wind-generated surface gravity waves. Atmosphere Ocean 27(1):210-236.

DOBSON, F.W. 1989. Listening to the wind. (Abstract) APICS Physics Lecture: Acadia University, Nova Scotia, Agricultural College, Nov. 1989. APICS Secretariat, Memorial University, St. John's, Nfld.

DOBSON, F.W., and S.D. SMITH. 1989. A comparison of incoming solar radiation at marine and continental stations. Q. J. Roy. Met. Soc. 115:353-364.

DRINKWATER, K. 1989. The relationship between Magdalen Island lobster landings and the St. Lawrence River discharge: an update. p. 43. (Abstract) Workshop/Symp. on "The Gulf of St. Lawrence: Small Ocean or Big Estuary?", Maurice Lamontagne Institute, Mont-Joli, Quebec, March 14-17, 1989.

DRINKWATER, K.F. 1989. The response of an open embayment to near hurricane force winds. Cont. Shelf Res. 9:823-839.

DRINKWATER, K.F., and R.W. TRITES. 1989. Overview of environmental conditions in the Northwest Atlantic in 1987. NAFO Scientific Council Studies 13:27-40.

FISSEL, D.B., A. VAN DER BAAREN, and C.L. TANG. 1989. Ice-based oceanographic sea-ice and meteorological data obtained over the northeastern Newfoundland Shelf, 1988-1989. Can. Data Rpt. Hyd. Ocean Sci. 75:vii+208 p.

GREGORY, D.N., O.C. Nadeau, and D. Lefaivre. 1989. Current statistics of the Gulf of St. Lawrence and Estuary. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 120:vi+176 p.

GREGORY, D.N., E. VERGE, and P. LANGILLE. 1989. Long-term temperature monitoring program 1988—Scotia-Fundy and Gulf of St. Lawrence. Can. Data Rpt. Hyd. Ocean Sci. Nº 74:vi+233 p.

HAMILTON, J.M., M.R. LEWIS, and B.R. RUDDICK. 1989. Vertical fluxes of nitrate associated with salt fingers in the world's oceans. J. Geo. Res. 94(C2):2137-2145.

HAMILTON, J.M. 1989. The validation and practical applications of a sub-surface mooring model. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 119:iv+45 p.

HARGRAVE, B.T., and D.J. LAWRENCE. 1989. Bibliography of Halifax Harbour and Bedford Basin. p. 72-87. In: H.B. Nicholls (ed.). Investigations of Marine Environmental Quality in Halifax Harbour. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1693.

HAYA, K., L.E. BURRIDGE, J.L. MARTIN, and B.A. WAIWOOD. 1989. Domoic acid in mussels, *Mytilus edulis*, from Passamaquoddy Bay, New Brunswick, Canada. (Abstract) Proc. of the Canadian Workshop on Harmful Algae, Moncton, N.B., Sept. 27-28, 1989.

HAYA, K., J.L. MARTIN, B.A. WAIWOOD, L.E. BURRIDGE, J.M. HUNGERFORD, and V. ZITKO. 1989. Paralytic shellfish toxins in mackerel, *Scomber scombrus*, from the southwest Bay of Fundy, Canada. (Abstract) Proc. of the Canadian Workshop on Harmful Algae, Moncton, N.B., Sept. 27-28, 1989.

HAYA, K. 1989. Toxicity of pyrethroid insecticides to fish. Env. Toxic. Chem. 8:381-391.

HAYA, K., J.L. MARTIN, B.A. WAIWOOD, and L.E. BURRIDGE. 1989. Distribution of PSP toxins in mussels cultured in Deadman's Harbour, New Brunswick. (Abstract) Proc. of the Canadian Workshop on Harmful Algae, Moncton, N.B., Sept. 27-28, 1989.

HENDRY, R.M., and M. IKEDA. 1989. Altimetric satellite measurements of sea-level variability near the Southeast Newfoundland Ridge. (Abstract) 23rd Annual Congress, Canadian Meteorological and Oceanographic Society.

HENDRY, R.M. 1989. Hydrographic measurements from C.S.S. *Hudson* cruise 82-002. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 118:iv+112 p.

HERMAN, A.W. 1989. Vertical relationships between chlorophyll production and copepods in the eastern trowcal Pacific. J. Plank. Res. 1(2):243-261.

HERMAN, A.W. 1989. Biological instrumentation for under-ice studies in the Arctic. BIO Review '87.

IKEDA, M., J.A. JOHANNESSEN, K. LYGRE, and S. SANDVEN. 1989. A process study of mesoscale meanders and eddies in the Norwegian coastal current. J. Phys. Oceanog. 19(1):20-35.

IKEDA, M. A coupled ice-ocean mixed layer model of the marginal ice zone responding to wind forcing. J. Geo. Res. 94(C7):9699-9709.

IKEDA, M., and K. LYGRE. 1989. Eddy-current interactions using a two-layer quasi-geostrophic model. p. 277-291. In: J.C. Nihoul and B. Jamart (eds.). Mesoscale/Synoptic Coherent Structures in Geophysical Turbulence. Elsevier, Amsterdam.

IKEDA, M. 1989. A review of sea ice and ocean modeling relevant to the Labrador and Newfoundland shelves. IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. 27(5):535-540.

IKEDA, M. 1989. Snow cover detected by diurnal warming of sea ice/snow surface off Labrador in NOAA imagery. IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. 27(5):552-560.

IKEDA, M. 1989. Air-ice-ocean feedback mechanism for decadal oscillations in northern hemisphere climate. p. 31-37. In: L. Mysak (ed.). Proc. of the 16th Stanstead Seminar. CRG Report Nº 89-12.

JONES, E.P., and R.A. CLARKE. 1989. Deep water formation and transport of CO2 in the Norwegian-Greenland Sea region in winter. (Abstract) 23rd Annual Congress of the Canadian Meteorological and Oceanographic Society, June 6-9, 1989, Rimouski, Quebec.

KRANCK, K., and T.G. MILLIGAN. 1989. Effects of a major dredging program on the sedimentary environment of Miramichi Bay, New Brunswick. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 112:iv+61 p.

LAWRENCE, D.J. 1989. Physical oceanography and modelling in Halifax Harbour: A review. p. 54-63. In: H.B. Nicholls (ed.). Investigations of Marine Environmental Quality in Halifax Harbour. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1693.

LAWRENCE, D.J. 1989. Monthly oil distributions on the eastern Canadian shelf, 1979-1981, following the *Kurdistan* incident. Unpub. MS Rpt. to Canadian Coast Guard:8 p., 13 figs.

LAZIER, J.R.N., and K.H. MANN. 1989. Turbulence and the diffusive layers around small organisms. Deep Sea Res. 36(11):1721-1733.

LEE, K., and E.M. LEVY. 1989. Biodegradation of petroleum in the marine environment and its enhancement. p. 217-243. In: J.O. Nriagu and J.S. Lakshinarayana (eds.). Aquatic Toxicology and Water Quality Management. John Wiley and Sons, NY.

LEE, K., K.L. TAY, E.M. LEVY, C.N. EWING, and S.E. COBANLI. 1990. Microbial exoenzyme activity at the Heron Island ocean dumpsite (Bay of Chaleur): 10 years after the disposal of dredged sediment from Dalhousie, New Brunswick. Ocean Dumping Report 5, Environment Canada:82 p.

LEE, K., K.L. TAY, C.N. EWING, and E.M. LEVY. 1990. Toxicity and environmental impact assessment tests based on the activity of indigenous bacteria. Ocean Dumping Report 4, Environment Canada:138 p.

LEE, K., K.L. TAY, E.M. LEVY, C.N. EWING, and S.E. COBANLI. 1990. Application of microbial exoenzyme activity measurements to assess the impact of dredge spoils disposal in Pictou Harbor, Nova Scotia, and the Miramichi River, New Brunswick. Ocean Dumping Report 6, Environment Canada:95 p.

LEE, K., and E.M. LEVY. 1989. Enhancement of the natural biodegradation of condesate and crude oil on beaches of Atlantic Canada. p. 479-486. In: Proc. 1989 Oil Spill Conference (Prevention, Behaviour, Control, Cleanup), San Antonio, TX, Feb. 13-16, 1989.

LEVY, E.M. 1989. Book review of "Strategies and advanced technology for marine pollution studies: Mediterranean Sea" by C.S. Giam and H.J.-M. Dou. Chemical Geology 75:147-148.

LIVELY, R.R. 1989. Current meter, meteorological, and sea-level observations for Browns Bank, Nova Scotia April 1983 to May 1985. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 113:v+304 p.

LORING, D.H., and R.T.T. RANTALA. 1989. Video (20 min.)—Total and partial methods of digestion for estuarine and coastal sediments and suspended particulate matter. Techniques in Marine Environmental Sciences Int. Council for the Exploration of the Sea.

LORING, D.H., and G. ASMUND. 1989. Heavy metal contamination of a Greenland Fjord system by mine wastes. Environmental Geology and Water Sciences 14(1):61-71.

LOUCKS, R.H., and R.E. SMITH. 1989. Hudson Bay and Ungava Bay ice-melt cycles for the period 1963-1983. Can. Contract. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 34:iv+48 p.

LOUGH, R.G., R. GREGORY, and R.W. TRITES. 1989. Chaetognaths and oceanography on Georges Bank. J. Mar. Res. 47:343-369.

MACINNES, C.D., R.K. MISRA, and J.P. PREVETT. 1989. Differences in growth parameters of Ross' Geese and Snow Geese: evidence from hybrids. Can. J. Zool. 67:286-290.

MCCULLOCH, A.W., R.K. BOYD, A.S.W. DEFREITAS, R.A. FOXALL, W.D. JAMIESON, M.V. LAYCOCK, M.A. QUILLIAM, J.L.C. WRIGHT, V.J. BOYKO, J.W. MCLAREN, M.R. MIEDEMA, R. POCKLINGTON, E. ARSENAULT, and D.J.A. RICHARD. 1989. Zinc from

oyster tissue as a causative factor in mouse deaths in official bioassay for paralytic shellfish poison. J. Assoc. Official Analyt. Chem. 52:384-386.

MCKEOWN, D.L. 1989. A near-surface drifter acoustic tracking system. p. 875-879. In: Proc. of Oceans '89 Conference, Seattle, WA, Sept. 18-21, 1989.

MIDDLETON, J.F., and J.F. LODER. 1989. Skew fluxes in polarized wave fields. J. Phys. Oceanog. 19(1):68-76.

MIDDLETON, J.F., and D.G. WRIGHT. 1989. Coastally trapped waves on the Labrador Shelf. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 116:vi+76 p.

MISRA, R.K., J.F. UTHE, and W. VYNCKE. 1989. Monitoring of time trends in contaminant levels using a multispecies approach: contaminant trends in Atlantic cod (*Gadus morhua*) and European flounder (*Platichthys flesus*) on the Belgian coast, 1978-1985. Marine Pollution Bulletin 20(10):500-502.

MISRA, R.K., J.F. UTHE, and C.L. CHOU. 1989. On time trends, 1977-1985, in Canadian Atlantic cod (*Gadus morhua*). ICES C.M. 1989/E:13/ Theme Session T:80-84.

MISRA, R.K., J.F. UTHE, and W. VYNKE. 1989. On multivariate and univariate analyses of variance. ICES C.M. 1989/E:13/Theme Session T:59-79.

MISRA, R.K., J.F. UTHE, D.P. SCOTT, C.L. CHOU, and C.J. MUSIAL. 1989. Time trends of chemical contaminant levels in Canadian Atlantic cod with several biological variables. Marine Pollution Bull. 20(5):227-232.

MUSCHENHEIM, D.K., P.E. KEPKAY, and K. KRANCK. 1989. Microbial growth in turbulent suspension and its relation to marine aggregate formation. Neth. J. Sea Res. 23:283-292.

MYERS, R.A., and K.F. DRINKWATER. 1989. The influence of Gulf Stream warm core rings on recruitment of fish in the northwest Atlantic. J. Mar. Res. 47:635-656.

MYERS, R.A., and K.F. DRINKWATER. 1988/89. Offshore Ekman transport and larval fish survival in the northwest Atlantic. J. Biol. Oceanog. 6:45-64.

PAGE, F.H., and P.C. SMITH. 1989. Particle drift in the surface layer off southwest Nova Scotia: description and evaluation of a model. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):21-43.

PERRIE, W., and D. RESIO. 1989. A survey of parameterizations of dynamical processes in third-generation wave models. p. 34-42. In: 2nd Int. Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Vancouver, B.C., April 1989.

PERRIE, W., H. GUNTHER, W. ROSENTHAL, and B. TOULANY. 1989. Modelling wind-generated surface gravity waves using similarity. Q. J. Roy. Met. Soc. 115:1373-1396.

PERRIE, W., and B. TOULANY. 1989. Coupling similarity-modelled surface gravity shallow water waves and the statistical structure of forcing winds. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 115:iv+40 p.

PERRIE, W., and B. TOULANY. 1989. On the correlations of sea-level pressure fields for objective analysis. Monthly Weather Review 117:1965-1974.

PERRY, R.I., P.C.F. HURLEY, P.C. SMITH, J.A. KOSLOW, and R.O. FOURNIER. 1989. Modelling the initiation of spring phytoplankton blooms: a synthesis of physical and biological interannual variability off southwest Nova Scotia, 1983-1985. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):183-199.

PETERSON, I., and S.J. PRINSENBERG. 1989. Observations of sea-ice drift off Newfoundland using satellite imagery and ice beacons. p. 2359-2362. In: Proc. IGARSS '89, 12th Canadian Symp. on Remote Sensing 4.

PRINSENBERG, S.J., and E.B. BENNETT. 1989. Vertical variations of tidal currents in shallow land fast ice-covered regions. J. Phys. Oceanog. 19(9):1268-1278.

PRINSENBERG, S.J., and I.K. PETERSON. 1989. Development of satellite-tracked ice beacons to study ice drift tracks and oceanic heat fluxes off Labrador. p. 61-70. In: Proc. of Workshop on Ice Properties, June 1988. NRC Technical Manuscript 144.

PRINSENBERG, S.J., and E.B. BENNETT. 1989. Transport between Peel Sound and Barrow Strait in the Canadian Arctic. Cont. Shelf Res. 9(5):427-444.

PRINSENBERG, S.J., and I.K. PETERSON. 1989. Sea-ice motion off Labrador and Newfoundland during the winter of 1988/89. (Abstract) 23rd Annual Congress of the Canadian Meteorological and Oceanographic Society, June 6-9, 1989, Rimouski, Quebec.

PRINSENBERG, S.J., and I.K. PETERSON. 1989. Ice drift. In: LIMEX '89 Data Report, Section 3.12:13 p.

QUON, C. 1989. Cross-sectional convection induced by an insulated boundary in a cylinder. J. Fluid Mech. 202:201-215.

RANTALA, R.T.T., and D.H. LORING. 1989. Teflon bomb decomposition of silicate materials in a microwave oven. Analytica Chimica Acta 220:263-267.

RESIO, D., and W. PERRIE. 1989. Theoretical and practical considerations in first-, second-, and third-generation wave models. p. 421-429. In: 2nd Int. Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Vancouver, B.C., April 1989.

RESIO, D., and W. PERRIE. 1989. Implications of an f-4 equilibrium range for wind-generated waves. J. Phys. Oceanog. 19:193-204.

SANDSTROM, H., J.A. ELLIOTT, and N. COCHRANE. 1989. Observing groups of solitary internal waves and turbulence with BATFISH and echo-sounder. J. Phys. Oceanog. 19(7):987-997.

SANDSTROM, H., and J.A. ELLIOTT. 1989. Atlas of physical oceanographic data for current surge studies on the Scotian Shelf: 1983. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 114:iv+379 p.

SANDSTROM, H., and J.A. ELLIOTT. 1989. Atlas of physical oceanographic data for current surge studies near the Gully, Scotian Shelf: 1984. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 117:iv+304 p.

SANDSTROM, H. and J.A. ELLIOTT. 1989. Atlas of physical oceanographic data for current surge studies on the Grand Banks of Newfoundland:1985. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 121:iv+472 p.

SAUNDERS, K.S., N.F. CREWE, and R. POCKLINGTON. 1989. Carbon and nitrogen in sediments of the Scotian Shelf and adjacent waters. Can. Data Rpt. Hyd. Ocean Sci. 73:iv+17 p.

SMITH, P.C., and H. SANDSTROM. 1989. Physical processes at the shelf edge in the northwest Atlantic. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 8:5-13.

SMITH, P.C., and D.J. LAWRENCE. 1989. An intercomparison of near-surface current measurements off southwest Nova Scotia. ICES Cooperative Research Report N° 165:57-97.

SMITH, P.C. 1989. Seasonal and interannual variability of current, temperature, and salinity off southwest Nova Scotia. Can. J. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):4-20

SMITH, P.C. 1989. Circulation and dispersion on Browns Bank. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46(4):539-559.

SMITH, P.C. 1989. Inertial oscillations near the coast of Nova Scotia during CASP. Atmosphere Ocean 27(1):181-209.

SMITH, S.D. 1989. Water vapor flux at the sea surface. (Review Paper) Boundary-Layer Meteorology 47:277-293.

SMITH, S.D. 1989. Book review of "Bunker climate atlas of the North Atlantic Ocean" by Hans-Jorg Isemer and Lutz Hasse. Boundary-Layer Meteorology 46:389.

SMITH, S.D., and R.J. ANDERSON. 1989. Eddy fluxes of water vapour, heat and momentum from an offshore platform during HEXMAX. (Abstract) Proc. of the 5th Scientific Assembly of the Int. Association of Meteorology and Atmospheric Physics:GX-45.

SMITH, S.D. 1989. Book review of "Air-sea exchange of heat and moisture during storms" by R.S. Bortkovskii. Boundary-Layer Meteorology 46:305.

TAGGART, C.T., K.F. DRINKWATER, K.T. FRANK, J. MCRUER, and P. LAROUCHE. 1989. Larval fish, zooplankton community structure, and physical dynamics at a tidal front. Rap. P. -v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer 191:184-194.

TAN, F.C. 1989. The role of oceanic dissolved organic carbon in the transport and storage of atmospheric carbon dioxide to the deep ocean. Research proposal submitted to the Interdepartmental Panel on Energy Research and Development, May 1989.

TAN, F.C. 1989. Stable carbon isotopes in dissolved inorganic carbon in marine and estuarine environments. p. 171-190. In: P. Fritz and J. Ch. Fontes (eds.). Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Vol. 3. The Marine Environment. Elsevier, Amsterdam.

TAN, F.C., D.L. CAI, and J.M. EDMOND. 1989. Carbon isotope geochemistry of the Changjiang Estuary. p. 69. (Abstract) American Chemical Society Annual Meeting, Dallas, TX, April 9-14, 1989.

TANG, C.L., and M. IKEDA. 1989. Ice edge upwelling off the Newfoundland coast during LIMEX. Atmosphere Ocean 27:658-681.

TANG, C.L. 1989. An ice-ocean coupled thermodynamical model for interannual variation of the Labrador pack ice. p. 99-104. In: L.A. Mysak (ed.). Proc. of the 16th Stanstead Seminar "High-Latitude Climate Processes with Special Emphasis on Large-Scale Air-Ice-Sea Interactions".

TANG, C.L. 1989. Oceanographic observations during LIMEX, March 1987. Can. Data Rpt. Hyd. Ocean Sci. 72:vii+202 p.

TEE, K.T. 1989. Subtidal salinity and velocity variations in the St. Lawrence Estuary. J. Geo. Res. 94(C6):8075-8090.

TOPLISS, B.J., J.R. MILLER, and B. IRWIN. 1989. Ocean optical measurements. I. Statistical analysis of data from the western North Atlantic. Cont. Shelf Res. 9(2):113-131.

TOPLISS, B.J. 1989. Ocean colour imagery: an investigation of some water-related parameters

influencing algorithm development and data product interpretation. Can. J. Rem. Sens. 15(1):56-67.

TOPLISS, B.J., J.R. MILLER, and E.P.W. HORNE. 1989. Ocean optical measurements-II. Statistical analysis of data from Canadian eastern arctic waters. Cont. Shelf Res. 9(2):133-152.

TRITES, R. 1989. Surface oceanographic features in relation to the paralytic shellfish toxin development in the western Gulf of St. Lawrence in 1988. (Abstract) Workshop/Symp. on "The Gulf of St. Lawrence: Small Ocean or Big Estuary?", Maurice Lamontagne Institute, Mont-Joli, Quebec, March 14-17, 1989.

UTHE, J.F., and G.B. SANGALANG. 1989. The utility of steroid hormone metabolic studies as a biochemical indicator of pollution. p. 10-14. In: F.R. Engelhardt and R. Bisson (eds.). Biochemical Indicators of Pollution. Proc. of a Special Topic Workshop Panel for Energy Research and Development, Task 6.7. Canada Oil and Gas Lands Administration, Ottawa.

UTHE, J.F., C.L. CHOU, N.J. PROUSE, and C.J. MUSIAL. 1989. Heavy metal, polycyclic aromatic hydrocarbon, and polychlorinated biphenyl concentrations in American lobster (*Homarus americanus*) from Halifax Harbour. Appendix A. p. 64-68. In: H.B. Nicholls (ed.). Investigations of Marine Environmental Quality in Halifax Harbour. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1693.

UTHE, J.F. (Chairman). 1989. Report of the 1989 meeting of the Working Group on Statistical Aspects of Trend Monitoring. ICES Statutory Meeting, C.M. 1989/E:13.

UTHE, J.F., H.C. FREEMAN, G.B. SANGALANG, K. HAYA, and L.S. SPERRY. 1989. Acid rain and reproduction in Atlantic salmon: Effects and mitigation. p. 63-68. In: G. Durbeen (ed.). Characteristics and conservation of fish habitat. Proc. of the Fish Habitat Awareness seminar, Acadia University, Wolfville, N.S., June 1988.

UTHE, J.F., and J.M. BEWERS. 1989. Book review of "Toxic contamination in large lakes", N.W. Schmidtke (ed.). Fisheries Research.

VANDERMEULEN, J.H. 1989. PAH and heavy-metal pollution of the Sydney Estuary: Summary and review of studies to 1987. Can. Tech. Rpt. Hyd. Ocean Sci. 108:ix+48 p.

WRIGHT, D.G. 1989. On the alongshelf evolution of an idealized density front. J. Phys. Oceanog. 19(4):532-541.

ZITKO, V. 1989. Composition of chlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans in the various samples. Science of the Total Environment 80:127-137.

ZITKO, V. 1989. A graphical presentation of the composition and properties of chlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans. Science of the Total Environment 83:191-194.

ZITKO, V. 1989. Chemistry of tainting. p. 21-24. In: Proc. of the Panel for Energy Research and Development, Task 6.7. Special Topic Workshops on Biochemical Indicators of Pollution and Tainting of Resource Species, May 11-12, 1989.

ZITKO, V. 1989. Characterization of PCBs by principal component analysis (PCA of PCB). Mar. Poll. Bull. 20(1):26-27.

ZITKO, V. 1989. A simple look at the structure of data matrices. Trends in Analytical Chemistry 8(5):161-162.

ENVIRONNEMENT CANADA

SERVICE CANADIEN DE LA FAUNE

Section de la recherche sur les oiseaux de mer
1988 et 1989

BEAUCHAMP, S.T., and J. KERREKES. 1989. Effects of acidity and DOC on phytoplankton community structure and production in three acid lakes (Nova Scotia). Water, Air and Soil Pollution 46:323-334.

BIRKHEAD, T.R., and D.N. NETTLESHIP. 1988. Breeding performance of black-legged kittiwakes, *Rissa tridactyla*, at a small expanding colony in Labrador. Can. Field-Naturalist 102:20-24.

BRADSTREET, M.S.W., D.N. NETTLESHIP, D.D. ROBY, and K.L. BRINK. 1988. Diet of dovekie chicks in northwest Greenland. Pacific Seabird Group Bulletin 15:23.

BROWN, R.G.B. 1989. Georges Bank: a crossroads for seabirds. p. 13-14. BIO Review '87.

BROWN, R.G.B., and D.E. GASKIN. 1988. The pelagic ecology of the grey and red-necked phalaropes *Phalaropus fulicarius* and *P. lobatus* in the Bay of Fundy, eastern Canada. Ibis 130:234-250.

BROWN, R.G.B., and D.E. GASKIN. 1989. Summer zooplankton distributions at the surface of the outer Bay of Fundy, eastern Canada. Can. J. Zool. 67:2725-2730.

BROWN, R.G.B. 1989. Seabirds and the arctic marine environment. p. 179-200. In: L. Rey, and V. Alexander (eds.). Proc. 6th. Conference of the Comité Arctique International, May 13-15, 1985, Leiden.

BROWN, R.G.B. 1988. The influence of oceanographic anomalies on the distribution of storm-petrels (*Hydrobatidae*) in Nova Scotian waters. Colonial Waterbirds 11:1-8.

BROWN, R.G.B. 1988. The wing-moult of fulmars and shearwaters (*Procellariidae*) in Canadian Atlantic waters. Can. Field-Naturalist 102:203-208.

BROWN, R.G.B. 1988. Oceanographic factors as determinants of the winter range of the dovekie *Alle alle* off Atlantic Canada. Colonial Waterbirds 11:176-180.

BROWN, R.G.B. 1988. Zooplankton patchiness and seabird distribution. p. 1001-1009. In: H. Ouellet (ed.). Acta 19th Congressus Internationalis Ornithologici, June 22-29, 1986. Ottawa, University of Ottawa Press.

DONOVAN, R., J. MURRAY, and D.N. NETTLESHIP. 1988. "Puffins and Prey", a CBC "Nature of Things" film production: 30 min., colour with sound commentary.

FREEDMAN, B., J. KERREKES, and G. HOWELL. 1989. Patterns of water chemistry among twenty-eight oligotrophic lakes in Kejimkujik National Park, Nova Scotia. Air, Water and Soil Pollution 44:119-130.

HOWELL, G.D., and J. KERREKES. 1988. Primary production of two small lakes in Atlantic Canada. Proc. of the Nova Scotian Inst. of Science 37:71-88.

HUNT, G.L., and D.N. NETTLESHIP. 1988. Reproductive biology of seabirds at high latitudes—concluding remarks. p. 1218-1219. In: H. Ouellet (ed.) Acta 19th Congressus Internationalis Ornithologici, June 22-29, 1986. Ottawa, University of Ottawa Press.

HUNT, G.L., and D.N. NETTLESHIP. 1988. Seabirds of high latitude northern and southern latitudes. p. 1143-1155. In: H. Ouellet (ed.) Acta 19th Congressus Internationalis Ornithologici, June 22-29, 1986. Ottawa, University of Ottawa Press.

KERREKES, J. 1988. Monitoring programmes associated with other environmental issues in the region—Kejimkujik Research Station. p. 67-71. In: Proc. of the IJC 1st. Regional Workshop on Integrated Monitoring, St. Andrews, N.B., May 31–June 2, 1988, Part I. International Joint Commission Report. T. Brydges and B. Hicks (eds.). Washington and Ottawa: 106 p.

KERREKES, J., B. FREEDMAN, S.T. BEAUCHAMP, and R. TORDON. 1989. Physical and chemical characteristics of three acidic, oligotrophic lakes and their watersheds in Kejimkujik National Park, Nova Scotia. Water, Air and Soil Pollution 46:99-118.

KERREKES, J., and B. FREEDMAN. 1989. Characteristics of three acidic lakes in Kejimkujik National Park, Nova Scotia, Canada. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 18:183-200.

KERREKES, J. (ed.). 1989. Acidification of organic waters in Kejimkujik National Park, Nova Scotia. Proc. of a Symp. on the Acidification of Organic Waters in Kejimkujik National Park, Nova Scotia, Canada, held in Wolfville, N.S., Oct. 25-27, 1988. Water, Air and Soil Pollution, vol. 46, N° 1-4. Kluwer Academic Publications 432 p.

KROSS, S.W., and D.N. NETTLESHIP. 1988. Re-establishment of Atlantic puffins, *Fratercula arctica*, at a former breeding site in the Gulf of Maine. J. Field Ornithology 59:161-170.

LOCK, A.R.L. 1988. Recent increases in the breeding population of ring-billed gulls, *Larus delawarensis*, in Atlantic Canada. Can. Field-Naturalist 102:627-633

NETTLESHIP, D.N. and G. CHAPDELAINE. 1988. Population size and status of the northern gannet, *Sula bassanus*, in North America, 1984. J. Field Ornithol. 59:120-127.

NETTLESHIP, D.N., and J. CHARDINE. 1989. A simulation model for the management of thick-billed murres (*Uria lomvia*) in the northwest Atlantic. Colonial Waterbird Society Newsletter 13:20.

NETTLESHIP, D.N., and G.L. HUNT. 1988. Reproductive biology of seabirds at high latitudes—Introduction. p. 1142. In: H. Ouellet (ed.) Acta 19th Congressus Internationalis Ornithologici, March 22-29, 1986. Ottawa, University of Ottawa Press.

NETTLESHIP, D.N., and G.L. HUNT (eds.) 1988. Symp. on "Reproductive Biology of Seabirds at High Latitudes in the Northern and Southern Hemispheres." In: H. Ouellet (ed.) Acta 19th Congressus Internationalis Ornithologici, June 22-29, 1986. Ottawa, University of Ottawa Press.

NETTLESHIP, D.N., and M.A. HAYNES. 1988. Death of a dovekie. Nova Scotia Birds 30:59.

NETTLESHIP, D.N. 1989. Book review of "Aspects of Breeding Success in Tundra Birds: Studies on Long-tailed Skuas and Waders at Scoresby-Sund, East Greenland" by J. de Korte. Circumpolar Journal 4:36-38.

NETTLESHIP, D.N. 1988. Report of the Standing Committee for the Coordination of Seabird

Research. p. 69-74. In: H. Ouellet (ed.) Acta 19th Congressus Internationalis Ornithologici, June 22-29, 1986. Ottawa, University of Ottawa Press.

NETTLESHIP, D.N. 1989. Book review of "Auks: An Ornithologist's Guide" by R. Freethy. Auk 106:525-526.

NETTLESHIP, D.N. 1988. Book review of "Seabirds—Feeding Ecology and Role in Marine Ecosystems" by J.P. Croxall (ed.). Cambridge: Cambridge University Press. British Antarctic Survey Bull. 80:138-139.

NETTLESHIP, D.N. 1988. Computerized colony registers: their design and use in waterbird research, management, and conservation. Colonial Waterbird Society Newsletter 12:27, 32-34.

NETTLESHIP, D.N. 1989. Book review of "Bird Communities at Sea off California 1975-1983" by K.T. Briggs, W.B. Tyler, and D.R. Carlson. Wilson Bulletin 101:659-661.

RYAN, P.M., and J. KEREKES. 1989. Correction of relative fish abundance estimates from catch data for variable fishing intensity during lake surveys. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:1022-1025.

RYAN, P.M., and J. KEREKES. 1988. Characteristics of sport fish populations in six experimentally fished salmonid lakes of Gros Morne National Park, Newfoundland. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1636:172 p.

SCHELL, V.A., and J. KEREKES. 1989. Distribution, abundance, and biomass of benthic macroinvertebrates and relative to pH and nutrients in eight lakes of Nova Scotia. Water, Air and Soil Pollution 46:359-374.

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

LABORATOIRE RÉGIONAL DE L'ATLANTIQUE (IOB)

1988

DOE, K.G., W.R. ERNST, W.R. PARKER, G.R.J. JULIEN, and P.A. HENNIGAR. 1988. Influence of pH on the Acute Lethality of Fenitrothion, 2,4-D, and Aminocarb and some pH-altered Sublethal Effects of Aminocarb on Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:287-293.

KIELEY, K.M., P.A. HENNIGAR, R.A.F. MATHESON, and W.R. ERNST. 1988. Polynuclear Aromatic Hydrocarbons and Heterocyclic Aromatic Compounds in Sydney Harbour, Nova Scotia. A 1986 survey. Environment Canada, Environmental Protection, Atlantic Region. Report EPS-5-AR-88-7:41 p.

PARKER, W.R., K.G. DOE, and J.D.A. VAUGHAN. 1988. The Acute Lethality of Potassium Cyanate and Potassium Thiocyanate to Rainbow Trout as Influenced by Waterwardness and pH. p. 171-172. In: A.J. Niimi and K.R. Solomon (eds.). Proc. of the 14th Annual Aquatic Toxicity Workshop, Nov. 2-4, 1987, Toronto. Can. Tech. Rpt. Fish. Aquat. Sci. 1607:201 p.

RICHARD B., et al. 1988. Reappraisal of Sanitary and Bacteriological Water Quality in New Brunswick Shellfish Growing Area 1-01 to 2-02, Campbellton to Bathurst. Environment Canada, Environmental Protection, Atlantic Region. MS Rpt. EP AR-88-3.

SHARP, G.J., H.S. SAMANT, and O.C. VAIDYA. 1988. Selected Metal Levels of Commercially Valuable Seaweeds Adjacent to and Distant from Point Sources of Contamination in Nova Scotia and New Brunswick. Bull. Env. Cont. Toxic. 40:724-730.

1989

MACLEAN, M.M., and K.G. DOE. 1989. The Comparative Toxicity of Crude and Refined Oils to *Daphnia magna* and *Artemia*. Environment Canada, Environmental Protection, Ottawa. Report EE-111:50 p.

RICHARD B., and L. LEBLANC. 1989. Bacteriological Quality Survey, Nova Scotia Shellfish Growing Area Sectors 1-01 to 2-01, Baie Verte to John Bay. Environment Canada, Environmental Protection, Atlantic Region. MS Rpt. EP AR-89-10.

RICHARD B., and L. LEBLANC. 1989. Sanitary and Bacteriological Water Quality Survey, New Brunswick Shellfish Growing Area 7, Shediac Bay to Baie Verte. Environment Canada, Environmental Protection, Atlantic Region. MS Rpt. EP AR-89-9.

ÉNERGIE, MINES ET RESSOURCES

CENTRE GÉOSCIENTIFIQUE DE L'ATLANTIQUE

1988

AGTERBERG, F.P.; GRADSTEIN, F.M. (1988). RECENT DEVELOPMENTS IN QUANTITATIVE STRATIGRAPHY. EARTH-SCIENCE REVIEWS VOL. 25 (pages 1-73)

AMOS, C.L. (1988). THE ATLANTIC GEOSCIENCE CENTRE SEDIMENT TRANSPORT NUMERIC MODELS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01705 (370 pages)

AMOS, C.L.; FADER, G.B.J. (1988). SURFICIAL GEOLOGY MAPS OF BANQUEREAU, SCOTIAN SHELF. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01723 (5 pages)

AMOS, C.L.; LEWIS, C.F.M. (1988). A COMPILATION OF REPORTS ON AGC CRUISES FROM 1982 TO 1986 INCLUSIVE, TO SABLE ISLAND BANK AND BANQUEREAU IN THE STUDY OF SURFICIAL SEDIMENT DYNAMICS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01703 (500 pages)

AMOS, C.L.; NADEAU, O.C. (1988). SURFICIAL SEDIMENTS OF THE OUTER BANKS, SCOTIAN SHELF, CANADA; CANADIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES VOL. 25 12 (pages 1923-1944).

AMOS, C.L.; VAN WAGONER, N.A.; DABORN, G.R. (1988). THE INFLUENCE OF SUBAERIAL EXPOSURE ON THE BULK PROPERTIES OF FINE-GRAINED INTERTIDAL SEDIMENT FROM MINAS BASIN, BAY OF FUNDY; ESTUARINE, COASTAL AND SHELF SCIENCE VOL. 27 1 (pages 1-13)

AMOS, C.L.; BOWEN, A.J.; HUNTLEY, D.A.; LEWIS, C.F.M. (1988). RIPPLE GENERATION UNDER THE COMBINED INFLUENCES OF WAVES AND CURRENTS ON THE CANADIAN CONTINENTAL SHELF; CONTINENTAL SHELF RESEARCH VOL. 8 10 (pages 1129-1153)

ARMSTRONG, R.; PIPER, D.J.W.; PEREIRA, C.G.P. (1988). PLEISTOCENE STRATIGRAPHY AND SEDIMENTOLOGY OF WESTERN FLEMISH PASS: A SEISMIC INTERPRETATION. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01741 (55 pages)

ASCOLI, P. (1988). MESOZOIC–CENOZOIC FORAMINIFERAL, OSTRACOD AND CALPIONELLID ZONATION OF THE NORTH ATLANTIC MARGIN OF NORTH AMERICA: GEORGES BANK–SCOTIAN BASINS AND NORTHEASTERN GRAND BANKS [JEANNE D'ARC, CARSON AND FLEMISH PASS BASINS] AND BIOSTRATIGRAPHIC CORRELATION OF 51 WELLS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01791 (41 pages).

AVERY, M.P. (1988). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM MOBIL–TEXACO–PEX VENTURE B-13. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01808 (16 pages)

AVERY, M.P. (1988). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM HUSKY–BOW VALLEY ET AL ARCHER K-19. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01822 (14 pages)

AVERY, M.P. (1988). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM ELF ET AL. EMERILLON C-56. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01803

AVERY, M.P. (1988). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM HUSKY–BOW VALLEY ET AL. SOUTH GRIFFIN J-13. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02003 (15 pages)

AVERY, M.P. (1988). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM HUSKYBOW VALLEY ET AL. GLOOSCAP C-63. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02004 (13 pages)

AVERY, M.P. (1988). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM HOME ET AL. LOUISBOURG J-47. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02005 (14 pages)

AVERY, M.P. (1988). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM MOBIL ET AL., NORTH DANA I-43. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02006 (14 pages)

AVERY, M.P. (1988). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM AMOCO–IMPERIAL HERON H-73. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02007 (13 pages)

AVERY, M.P. (1988). VITRINITE REFLECTANCE (RO) OF DISPERSED ORGANICS FROM MOBIL ET AL. SOUTH MARA C-13, GRAND BANKS OF NEWFOUNDLAND. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02016 (16 pages)

AVERY, M.P. (1988). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM ELF HERMINE E-94. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01804 (18 pages)

AVERY, M.P. (1988). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM PETRO-CANADA TERRA NOVA K-08. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01805 (15 pages)

AVERY, M.P. (1988). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM HUSKY–BOW VALLEY ET AL TRAVE E-87. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01806 (19 pages)

AVERY, M.P. (1988). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM EASTCAN ET AL CARTIER D-70. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01807 (12 pages)

BASSI, G.; BONNIN, J. (1988). RHEOLOGICAL MODELLING AND DEFORMATION INSTABILITY OF LITHOSPHERE UNDER EXTENSION-II. DEPTH-DEPENDENT RHEOLOGY; GEOPHYSICAL JOURNAL OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY VOL. 94 3 (pages 559-565)

BONIFAY, D.; PIPER, D.J.W. (1988). PROBABLE LATE WISCONSINAN ICE MARGIN ON THE UPPER CONTINENTAL SLOPE OFF ST. PIERRE BANK, EASTERN CANADA; CANADIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES VOL. 25 6 (pages 853-865)

BOYD, R.; FORBES, D.L.; HEFFLER, D.E. (1988). TIME-SEQUENCE OBSERVATIONS OF WAVE-FORMED SAND RIPPLES ON AN OCEAN SHOREFACE; SEDIMENTOLOGY VOL. 35 3 (pages 449-464)

BUCKLEY, D.E.; CRANSTON, R.E. (1988). EARLY DIAGENESIS IN DEEP SEA TURBIDITES: THE IMPRINT OF PALEO-OXIDATION ZONES; GEOCHIMICA ET COSMOCHIMICA ACTA VOL. 52 12 (pages 2925-2939)

CALABRESE, E.A.; SYVITSKI, J.P.M. (1988). MODELLING THE GROWTH OF A PROGRADING DELTA: NUMERICS, SENSITIVITY, PROGRAM CODE AND USERS GUIDE. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01624 (61 pages)

CANT, D.J. (1988). THE MESOZOIC OF MIDDLE NORTH AMERICA; GEOSCIENCE CANADA VOL. 15 2 (pages 228-229)

EDWARDS, A. (1988). SEISMIC REPROCESSING RESULTS FOR SHELL CANADA LINE M-105, MONTAGNAIS STRUCTURE OFFSHORE NOVA SCOTIA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02100 (10 pages).

FADER, G.B.J.; KING, E.; GILLESPIE, R.; KING, L.H. (1988). SURFICIAL GEOLOGY OF GEORGES BANK, BROWNS BANK AND THE SOUTHEASTERN GULF OF MAINE. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01692.

FITZGERALD, R.A.; WINTERS, G.V.; BUCKLEY, D.E. (1988). EVALUATION OF A SEQUENTIAL LEACH PROCEDURE FOR THE DETERMINATION OF METAL PARTITIONING IN DEEP SEA SEDIMENTS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01701 (23 pages)

FRICKER, A.; AUST, G. (1988). DISTRIBUTION OF LITHOLOGIC COMPONENTS ON THE EASTERN SCOTIAN SHELF. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01684 (90 pages)

FRICKER, A. (1988). INDEX TO LITHOSTRATIGRAPHIC AND LITHODEMIC UNITS OF ATLANTIC CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01980 (10 pages).

FRICKER, A.; FORBES, D.L. (1988). A SYSTEM FOR COASTAL DESCRIPTION AND CLASSIFICATION; COASTAL MANAGEMENT VOL. 16 (pages 111-137)

GASKILL, H.; LEWIS, C.F.M. (1988). ON THE SPATIAL FREQUENCY OF LINEAR ICE SCOURS ON THE SEABED; COLD REGIONS SCIENCE AND TECHNOLOGY VOL. 15 2 (pages 107-130)

GRANT, A.C.; SANFORD, B.V. (1988). BEDROCK GEOLOGICAL MAPPING AND BASIN STUDIES IN THE HUDSON BAY REGION; in CURRENT RESEARCH PART B EASTERN AND ATLANTIC CANADA. RECHERCHES EN COURS PARTIE B EST ET REGION ATLANTIQUE DU CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-01B (pages 287-296)

GRANT, A.C. (1988). DEPTH TO BASEMENT OF THE CONTINENTAL MARGIN OF EASTERN CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, "A" SERIES MAP 01707A

GRANT, A.C. (1988). DEVONIAN ROCKS ON ORPHAN KNOLL, OFFSHORE EASTERN CANADA; in DEVONIAN OF THE WORLD, PROCEEDINGS OF THE SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE DEVONIAN SYSTEM, VOLUME 1: REGIONAL SYNTHESES. CANADIAN SOCIETY OF PETROLEUM GEOLOGISTS, MEMOIR 14 (pages 155-157)

HARDY, I.A.; BEAVER, D.E.; HART, S.T.; JARRETT, K.A.; MERCHANT, S. (1988). AN INDEX TO SAMPLES AND RECORDS COLLECTED BY THE ATLANTIC GEOSCIENCE CENTRE FOR 1987. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01778 (210 pages)

HARGRAVE, B.T.; LAWRENCE, D.J. (1988). BIBLIOGRAPHY OF HALIFAX HARBOUR AND BEDFORD BASIN. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02001 (17 pages)

HARMES, R.A. (1988). PART 3: CRUISE REPORT CSS JOHN P. TULLY, BEAUFORT SEA, AUGUST 7 TO AUGUST 12, 1987; in BEAUFORT SEA COASTAL ZONE GEOTECHNICS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01902

HARPER, J.R.; REIMER, P.D.; COLLINS, A.D. (1988). CANADIAN BEAUFORT SEA: PHYSICAL SHORE-ZONE ANALYSIS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01689 (105 pages)

HEQUETTE, A. (1988). PART 5: FIELD SURVEY AND CRUISE REPORT, USGS R/V KARLUK, 20 AUGUST–16 SEPTEMBER, 1987; in BEAUFORT SEA COASTAL ZONE GEOTECHNICS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01902

HILL, P.R. (1988). BEAUFORT SEA COASTAL ZONE GEOTECHNICS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01902 (168 pages)

HILL, P.R. (1988). PART 4: CRUISE REPORT CCGS NAHIDIK, SEPTEMBER 11-18, 1987; in BEAUFORT SEA COASTAL ZONE GEOTECHNICS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01902

HILL, P.R.; HEQUETTE, A. (1988). BEACH DYNAMICS STUDY, TIBJAK BEACH, BEAUFORT SEA COAST; in BEAUFORT SEA COASTAL ZONE GEOTECHNICS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01902

HOWIE, R.D. (1988). UPPER PALEOZOIC EVAPORITES OF SOUTHEASTERN CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, BULLETIN 00380 (120 pages)

JANSA, L.F; PE-PIPER, G. (1988). MIDDLE JURASSIC TO EARLY CRETACEOUS IGNEOUS ROCKS ALONG EASTERN NORTH AMERICAN CONTINENTAL MARGIN; AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS BULLETIN VOL. 72 3 (pages 347-366)

JENNER, K. (1988). PART 1: FIELD ACTIVITIES REPORT ELLICE ISLAND, MACKENZIE DELTA, N.W.T., JULY 12–AUGUST 20, 1987; in BEAUFORT SEA COASTAL ZONE GEOTECHNICS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01902

JOSENHANS, H.; BALZER, S.; HENDERSON, P.; NIELSON, E.; THORLIEFSON, H.; ZEVENHUIZEN, J. (1988). PRELIMINARY SEISMOSTRATIGRAPHIC AND GEOMORPHIC INTERPRETATIONS OF THE QUATERNARY SEDIMENTS OF HUDSON BAY; in CURRENT RESEARCH PART B EASTERN AND ATLANTIC CANADA. RECHERCHES EN COURS PARTIE B EST ET REGION ATLANTIQUE DU CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-01B (pages 271-286)

JOSENHANS, H.; WOODWORTH-LYNAS, C. (1988). ENIGMATIC LINEAR FURROWS AND PITS ON THE UPPER CONTINENTAL SLOPE, NORTHWEST LABRADOR SEA: ARE THEY SEDIMENT FURROWS OR FEEDING TRACES?; MARITIME SEDIMENTS AND ATLANTIC GEOLOGY VOL. 24 2 (pages 149-155)

JOSENHANS, H.; WOODWORTH-LYNAS, C. (1988). ENIGMATIC LINEAR FURROWS AND PITS ON THE UPPER CONTINENTAL SLOPE, NORTHWEST LABRADOR SEA: ARE THEY SEDIMENT FURROWS OR FEEDING TRACES ?. MARITIME SEDIMENTS AND ATLANTIC GEOLOGY VOL. 24 (pages 149-155)

KAY, W.A.; KEEN, C.E. (1988). DEEP MARINE MULTICHANNEL SEISMIC REFLECTION DATA FROM THE GRAND BANKS, EASTERN CANADIAN CONTINENTAL MARGIN. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01731

KEEN, C.E.; DE VOOGD, B. (1988). THE CONTINENT–OCEAN BOUNDARY AT THE RIFTED MARGIN OFF EASTERN CANADA: NEW RESULTS FROM DEEP SEISMIC REFLECTION STUDIES; TECTONICS VOL. 7 1 (pages 107-124)

KEEN, M.J. (1988). CHILDREN SHOULD LEARN TO APPRECIATE SCIENCE, MATHEMATICS AND TECHNOLOGY IN SCHOOL. SHOULDN'T SCIENTISTS, MATHEMATICIANS AND TECHNOLOGISTS ALL HELP?; GEOSCIENCE CANADA VOL. 15 4 (pages 281-282)

KEEN, M.J.; CAMERON, G.D.M. (1988). TECTONIC ELEMENT MAP OF THE CONTINENTAL MARGIN OF EASTERN CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, "A" SERIES MAP 01706A

KRANCK, K.; MILLIGAN, T.G. (1988). PART 2: MACKENZIE RIVER DELTA–SEDIMENT SAMPLING 1987; in BEAUFORT SEA COASTAL ZONE GEOTECHNICS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01902

LEBLANC, K.W.G.; SYVITSKI, J.P.M.; MAILLET, L. (1988). EXAMINATION OF THE SUSPENDED PARTICULATE MATTER WITHIN ARCTIC FIORDS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01733 (152 pages)

LEWIS, C.F.M.; PARROTT, D.R.; D'APOLLONIA, S.J.; GASKILL, H.S.; BARRIE, J.V. (1988). METHODS OF ESTIMATING ICEBERG SCOURING RATES ON THE GRAND BANKS OF NEWFOUNDLAND; in PORT AND OCEAN ENGINEERING UNDER ARCTIC CONDITIONS, VOLUME III. (pages 229-254)

MACNAB, R. (1988). AEROMAGNETIC PROFILES NORTHEAST OF ORPHAN BASIN. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01907 (3 pages)

MANCHESTER, K.S. (1988). PROCEEDINGS OF WORKSHOP ON SCIENTIFIC DRILLING IN THE ARCTIC OCEAN, PLANNING FOR THE 1990'S. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01943 (182 pages)

MARSTERS, J.C. (1988). GEOTECHNICAL PROPERTIES OF SEDIMENTS OBTAINED DURING HUDSON 86-013 AT NARWHAL F-99 WELLSITE. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01724 (69 pages)

MARSTERS, J.C. (1988). DATA REPORT, PHYSICAL PROPERTIES PROGRAM HUDSON 87028—HUDSON BAY. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01593 (93 pages)

MAYER, L.A.; SHOR, A.N.; HUGHES CLARKE, J.; PIPER, D.J.W. (1988). DENSE BIOLOGICAL COMMUNITIES AT 3850 M ON THE LAURENTIAN FAN AND THEIR RELATIONSHIP TO THE DEPOSITS OF THE 1929 GRAND BANKS EARTHQUAKE; DEEP-SEA RESEARCH VOL. 35 8 (pages 1235-1246)

MILLER, A.A.L. (1988). POST GLACIAL PALEO-OCEANOGRAPHY, NORTHEAST NEWFOUNDLAND SHELF: PART II. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01841 (43 pages).

MILLER, R.O.; FADER, G.B.J. (1988). SURFICIAL GEOLOGY MAPS, NORTHERN GRAND BANK, GRAND BANKS OF NEWFOUNDLAND [NRM 14958]. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01842

MUDFORD, B.S. (1988). A QUANTITATIVE ANALYSIS OF LITHOSPHERIC SUBSIDENCE DUE TO THINNING BY SIMPLE SHEAR; CANADIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES VOL. 25 1 (pages 20-29)

MUDFORD, B.S. (1988). MODELING THE OCCURRENCE OF OVERPRESSURES ON THE SCOTIAN SHELF, OFFSHORE EASTERN CANADA; JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH VOL. 93 B7 (pages 7845-7855)

MYERS, R.A.; PIPER, D.J.W. (1988). SEISMIC STRATIGRAPHY OF LATE CENOZOIC SEDIMENTS IN THE NORTHERN LABRADOR SEA: A HISTORY OF BOTTOM CIRCULATION AND GLACIATION; CANADIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES VOL. 25 12 (pages 2059-2074)

PE-PIPER, G.; JANSA, L.F. (1988). THE ORIGIN OF COMPLEX MANTLING RELATIONSHIPS IN CLINOPYROXENE FROM THE NEW ENGLAND SEAMOUNTS; CANADIAN MINERALOGIST VOL. 26 1 (pages 109-116)

PIPER, D.J.W; CAMERON, D.J.W.; BEST, M.A. (1988). QUATERNARY GEOLOGY OF THE CONTINENTAL MARGIN OF EASTERN CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, "A" SERIES MAP 01711A

PIPER, D.J.W. (1988). NORTHERN FLEMISH PASS ECHOGRAM AND SIDESCAN SONAR INTERPRETATION OF SEABED MORPHOLOGY. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01843

PIPER, D.J.W.; SHOR, A.N.; CLARKE, J.E.H. (1988). THE 1929 "GRAND BANKS" EARTHQUAKE, SLUMP, AND TURBIDITY CURRENT; in SEDIMENTOLOGIC CONSEQUENCES OF CONVULSIVE GEOLOGIC EVENTS. GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, SPECIAL PAPER 229 (pages 77-92)

PIPER, D.J.W.; KONTOPOULOS, N.; PANAGOS, A.G. (1988). DELTAIC SEDIMENTATION AND STRATIGRAPHIC SEQUENCES IN POST-OROGENIC BASINS, WESTERN GREECE; SEDIMENTARY GEOLOGY VOL. 55 3/4 (pages 283-294)

PIPER, D.J.W. (1988). GLACIOMARINE SEDIMENTATION ON THE CONTINENTAL SLOPE OFF EASTERN CANADA; GEOSCIENCE CANADA VOL. 15 1 (pages 23-28)

PRAEG, D.B. (1988). REPORT ON ATLANTIC GEOSCIENCE CENTRE PARTICIPATION IN CSS BAFFIN CRUISE 86-023. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01408 (10 pages)

PRAEG, D.B. (1988). REPORT OF ATLANTIC GEOSCIENCE CENTRE ACTIVITIES IN THE ARCTIC ISLAND CHANNELS DURING CSS BAFFIN CRUISE 87-027. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01694 (30 pages)

PRAEG, D.B. (1988). GEOMORPHOLOGY AND BEDROCK GEOLOGY OF SOUTHERN NORWEGIAN BAY, QUEEN ELIZABETH ISLANDS, NORTHWEST TERRITORIES. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01925 (49 pages)

PRAEG, D.B.; SYVITSKI, J.P.M.; ASPREY, K.; CURRIE, R.; HEIN, F.; MILLER, A.; SHERIN, A.; STANDEN, G. (1988). REPORT ON CSS DAWSON CRUISE 87-023 IN THE GULF OF ST. LAWRENCE. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01678 (84 pages)

QUINN, F.J.; VIGIER, L.; POLEY, D.F.; SIMPKIN, P.G. (1988).EVALUATION /CALIBRATION OF MARINE SOURCE FOR HIGH RESOLUTION SEISMIC STUDIES. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01520 (230 pages)

REID, I. (1988). CRUSTAL STRUCTURE BENEATH THE SOUTHERN GRAND BANKS: SEISMIC -REFRACTION RESULTS AND THEIR IMPLICATIONS; CANADIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES VOL. 25 5 (pages 760-772)

REID, I.; KEEN, C.E. (1988). UPPER CRUSTAL STRUCTURE DERIVED FROM SEISMIC REFRACTION EXPERIMENTS: GRAND BANKS OF EASTERN CANADA. BULLETIN OF CANADIAN PETROLEUM GEOLOGY VOL. 36 4 (pages 388-396)

SCHAFER, C.T.; SMITH, J.N. (1988). EVIDENCE OF THE OCCURRENCE AND MAGNITUDE OF TERRESTRIAL LANDSLIDES IN RECENT SAGUENAY FIORD SEDIMENTS; IN NATURAL AND MAN-MADE HAZARDS; PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM; ED.: M.I. EL-SABH, T.S. MURTY. (INTERNATIONAL SYMPOSIUM : 1986 : RIMOUSKI, PQ, CANADA) (D. REIDEL, DORDRECHT, NETHERLANDS) (pages 137-145)

SHEPHARD, L.E.; AUFFRET, G.A.; BUCKLEY, D.E.; SCHUTTENHELM, R.T.E.; SEARLE, R.C. (1988). FEASIBILITY OF DISPOSAL OF HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTES INTO THE SEABED: GEOSCIENCE CHARACTERIZATION STUDIES. SANDIA NATIONAL LABORATORIES, SANDIA REPORT SAND87-1913 (303 pages)

SHIH, K.G.; KAY, W.; WOODSIDE, J.; JACKSON, R.; ADAMS, J.; DRYSDALE, J.; BELL, J.S.; PODROUZEK, A.J. (1988). CRUSTAL THICKNESS, SEISMICITY, AND STRESS ORIENTATIONS OF THE CONTINENTAL MARGIN OF EASTERN CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, "A" SERIES MAP 01710A

SONNICHSEN, G.V.; MACLEAN, B. (1988). A RECONNAISSANCE STUDY OF THE MARINE GEOLOGY OF THE LOUGHEED–KING CHRISTIAN–CAMERON ISLANDS REGION, NORTHWEST ARCTIC ISLAND CHANNELS; in CURRENT RESEARCH PART D INTERIOR PLAINS AND ARCTIC CANADA. RECHERCHES EN COURS PARTIE D PLAINES INTERIEURES ET REGION ARCTIQUE DU CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-01D (pages 115-120)

SONNICHSEN, G.V.; ATKINSON, A. (1988). A SMALL BOAT SURVEY OF THE LOUGHEED-KING CHRISTIAN-CAMERON ISLANDS REGION OF THE NORTHWESTERN CANADIAN ARCTIKC ISLANDS USING OPEN WATER LEADS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01903 (23 pages)

SRIVASTAVA, S.P.; VERHOEF, J.; MACNAB, R. (1988). RESULTS FROM A DETAILED AEROMAGNETIC SURVEY ACROSS THE NORTHEASTERN NEWFOUNDLAND MARGIN, PART I: SPREADING ANOMALIES AND RELATIONSHIP BETWEEN MAGNETIC ANOMALIES AND THE OCEAN-CONTINENT BOUNDARY. MARINE AND PETROLEUM GEOLOGY VOL 5 NOVEMBER (pages 306-323, COLOUR FIGURES 8 AND 10 ARE PRESENTED BETWEEN pages 336 AND 337)

SRIVASTAVA, S.P.; VERHOEF, J.; MACNAB, R. (1988). RESULTS FROM A DETAILED AEROMAGNETIC SURVEY ACROSS THE NORTHEASTERN NEWFOUNDLAND MARGIN, PART II: EARLY OPENING OF THE NORTH ATLANTIC BETWEEN THE BRITISH ISLES AND NEWFOUNDLAND. MARINE AND PETROLEUM GEOLOGY VOL 5 NOVEMBER (pages 324-337, COLOUR FIGURES 2, 3, 5, 6, 9 AND 10 ARE PRESENTED BETWEEN pages 336 AND 337)

SRIVASTAVA, S.P.; POWELL, C.G.; NUNNS, A.G.; KOVACS, L.C.; ROBERTS, D.G.; JONES, M.T. URUSKI, C.I.; VOPPEL, D. (1988). MAGNETIC ANOMALIES. in: GEOPHYSICAL

ATLAS OF THE NORTH ATLANTIC BETWEEN 50 DEGREES TO 72 DEGREES N AND 0 DEGREES TO 65 DEGREES W. ED. S.P. SRIVASTAVA, D. VOPPEL AND B. TUCHOLKE. (HAMBURG: DEUTSCHES HYDROGRAPHISCHES INSTITUT : 1988). (pages 3-4)

STRAVERS, J. (1988). ITIRBILUNG FIORD, GLACIAL FEATURES. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01844 (168 pages)

SYVITSKI, J.P.M.; SMITH, J.N.; CALABRESE, E.A.; BOUDREAU, B.P. (1988). BASIN SEDIMENTATION AND THE GROWTH OF PRO-GRADING DELTAS; JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH VOL. 93 C6 (pages 6895-6908)

SYVITSKI, J.P.M.; BEATTIE, D.D.; PRAEG, D.B.; SCHAFER, C.T. (1988). MARINE GEOLOGY OF BAIE DES CHALEURS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01375 (5 pages)

SYVITSKI, J.P.M. (1988). DAWSON 88-008, TECHNICAL CRUISE SUMMARY, MAY 01—MAY 17, 1988. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01920 (60 pages)

THIBAULT, J.; FROBEL, D. (1988). VIDEOTAPE OF THE COASTLINE OF NEW BRUNSWICK FROM RICHIBUCTO CAPE TO POINT ESCUMINAC. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01740

THOMAS, F.C. (1988). TAXONOMY AND STRATIGRAPHY OF SELECTED CENOZOIC BENTHIC FORAMINIFERA, CANADIAN ATLANTIC MARGIN; MICROPALEONTOLOGY VOL. 34 1 (pages 67-82)

TODD, B.J.; LEWIS, C.F.M.; RYALL, P.J.C. (1988). COMPARISON OF TRENDS OF ICEBERG SCOUR MARKS WITH ICEBERG TRAJECTORIES AND EVIDENCE OF PALEOCURRENT TRENDS ON SAGLEK BANK, NORTHERN LABRADOR SHELF; CANADIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES VOL. 25 9 (pages 1374-1383)

TODD, B.J.; KEEN, C.E.; REID, I. (1988). CRUSTAL STRUCTURE ACROSS THE SOUTHWEST NEWFOUNDLAND TRANSFORM MARGIN; CANADIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES VOL. 25 5 (pages 744-759)

VILKS, G.; POWELL, C. (1988). REPORT OF CSS HUDSON CRUISE REPORT 87-033 ON BAFFIN ISLAND SHELF, LABRADOR SEA AND NORTHEAST NEWFOUNDLAND SHELF AREAS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01702 (65 pages) VILKS, G; DEONARINE, B. (1988).

LABRADOR SHELF BENTHIC FORAMINIFERA AND STABLE OXYGEN ISOTOPES OF CIBICIDES LOBATULUS RELATED TO THE LABRADOR CURRENT; CANADIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES VOL. 25 8 (pages 1240-1255)

VOPPEL, D.; RUDLOFF, R.; SCHULZ-OHLBERG, J.; SRIVASTAVA, S.P.; SHIH, K.G.; RABINOWITZ, P.D.; JUNG, W. (1988). FREE AIR ANOMALIES. in: GEOPHYSICAL ATLAS OF THE NORTH ATLANTIC BETWEEN 50 DEGREES TO 72 DEGREES N AND 0 DEGREES TO 65 DEGREES W. ED. S P SRIVASTAVA, D. VOPPEL AND B. TUCHOLKE. (HAMBURG: DEUTSCHES HYDROGRAPHISCHES INSTITUT : 1988). (pages 5-7)

WINTERS, G.V.; BUCKLEY, D.E.; CRANSTON, R.E.; FITZGERALD, R.A. (1988). SEDIMENTOLOGICAL AND GEOCHEMICAL DATA FOR SEDIMENT AND PORE WATER FROM HUDSON 84-046 EXPEDITION: SOUTHERN NARES ABYSSAL PLAIN, NORTH WESTERN ATLANTIC OCEAN. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01718 (110 pages)

1989

AMOS, C.L. (1989). SUBMERSIBLE OBSERVATIONS OF QUATERNARY SEDIMENTS AND BEDFORMS ON THE SCOTIAN SHELF; in SUBMERSIBLE OBSERVATIONS OFF THE EAST COAST OF CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-20 (pages 9-26)

ANONYMOUS. (1989). INTRODUCTION; INTRODUCTION; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (page 1)

ARKANI-HAMED, J.; VERHOEF, J. (1989). GENERALIZED INVERSION OF SCALAR MAGNETIC ANOMALIES: MAGNETIZATION OF THE CRUST OFF THE EAST COAST OF CANADA. in: PROPERTIES AND PROCESSES OF THE EARTH'S LOWER CRUST; ED. R.F. MEREAU, S MUELLER AND D.M. FOUNTAIN; GEOPHYSICAL MONOGRAPH SERIES, AMERICAN GEOPHYSICAL UNION VOL 51 (pages 255-270)

AVERY, M.P. (1989). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM AMOCO IMPERIAL KITTIWAKE P-11. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02033 (15 pages)

AVERY, M.P. (1989). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM SHELL PETROCAN ET AL. UNIACKE G-72. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02052 (16 pages)

AVERY, M.P. (1989). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM PETRO-CANADA ET AL. WEST ESPERANTO B-78. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02053 (17 pages)

AVERY, M.P. (1989). VITRINITE REFLECTANCE [RO] OF DISPERSED ORGANICS FROM HUSKY–BOW VALLEY ET AL., EVANGELINE H-98. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02104 (15 pages)

BELL, J S; LLOYD, P.F. (1989). MODELLING OF STRESS REFRACTION IN SEDIMENTS AROUND THE PEACE RIVER ARCH, WESTERN CANADA; in CURRENT RESEARCH PART A, ABSTRACTS. RECHERCHES EN COURS PARTIE A, RESUMES. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 89-01A (page 49)

BELL, J.S.; LLOYD, P.F. (1989). MODELLING OF STRESS REFRACTION IN SEDIMENTS AROUND THE PEACE RIVER ARCH, WESTERN CANADA; in CURRENT RESEARCH PART D, INTERIOR PLAINS AND ARCTIC CANADA. RECHERCHES EN COURS PARTIE D, PLAINE INTERIEURES ET REGIONS ARCTIQUE DU CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 89-01D (pages 49-54)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L.. (1989). in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (112 pages)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L.. (1989). SEISMIC COVERAGE, LABRADOR SEA; COUVERTURE SISMIQUE, MER DU LABRADOR; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 4-5)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L. (1989). BATHYMETRY, LABRADOR SEA; BATHYMETRIE, MER DU LABRADOR; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 6-7)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L. (1989). QUATERNARY GEOLOGY II, LABRADOR SEA, SURFICIAL GEOLOGY AND PHYSICAL PROPERTIES; GEOLOGIE QUATERNAIRE II, MER DU LABRADOR, GEOLOGIE ET PROPRIETES PHYSIQUES DES FORMATIONS DE SURFACE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 10-11)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L.. (1989). QUATERNARY GEOLOGY III, LABRADOR SEA, PHYSICAL PROPERTIES AND ENVIRONMENTAL INTERPRETATION; GEOLOGIE QUATERNAIRE III, MER DU LABRADOR, PROPRIETES PHYSIQUES ET INTERPRETATION ENVIRONNEMENTALE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 12-13)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L.. (1989). QUATERNARY GEOLOGY IV, LABRADOR SEA, ISOPACH AND SURFACE TEXTURE; GEOLOGIE QUATERNAIRE IV, MER DU LABRADOR, ISOPAQUES ET TEXTURE DES FORMATIONS DE SURFACE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 14-15)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L.. (1989). QUATERNARY GEOLOGY V, LABRADOR SEA, SEAFLOOR PHOTOGRAPHS; GEOLOGIE QUATERNAIRE V, MER DU LABRADOR, PHOTOS DES RELIEFS SOUS-MARINS; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 16-17)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L.. (1989). DEEP WATER SEDIMENTS II, LABRADOR SEA, ACOUSTIC INTERPRETATION, BASAL PLEISTOCENE TO MID-PLEISTOCENE; SEDIMENTS EN EAU PROFONDE II, MER DU LABRADOR, INTERPRETATION ACOUSTIQUE DU PLEISTOCENE INFERIEUR AU PLEISTOCENE MOYEN; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 20-21)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L. (1989). DEEP WATER SEDIMENTS III, LABRADOR SEA,

ACOUSTIC INTERPRETATION, MID-PLEISTOCENE TO HOLOCENE; SEDIMENTS EN EAU PROFONDE III, MER DU LABRADOR, INTERPRETATION ACOUSTIQUE DU PLEISTOCENE MOYEN A L'HOLOCENE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 22-23)

BELL, J.S. (1989). BEDROCK GEOLOGY, LABRADOR SEA; GEOLOGIE DU SOUBASSEMENT, MER DU LABRADOR; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 24-25)

BELL, J.S.; MILLER, P.E. (1989). LITHOSTRATIGRAPHY II, LABRADOR SEA, STRATIGRAPHIC CROSS SECTION EE', SEDIMENT EDGE TO INDIAN HARBOUR M-52; LITHOSTRATIGRAPHIE II, MER DU LABRADOR, SECTION TRANSVERSALE STRATIGRAPHIQUE EE', BORDURE SEDIMENTAIRE A INDIAN HARBOUR M-52; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 28-29)

BELL, J.S.; MILLER, P.E. (1989). LITHOSTRATIGRAPHY III, LABRADOR SEA, STRATIGRAPHIC CROSS SECTION DD', GUDRID H-55 TO LEIF M-48; LITHOSTRATIGRAPHIE III, MER DU LABRADOR, SECTION TRANSVERSALE STRATIGRAPHIQUE DD', GUDRID H-55 A LEIF M-48; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 30-31)

BELL, J.S.; MILLER, P.E. (1989). LITHOSTRATIGRAPHY IV, LABRADOR SEA, STRATIGRAPHIC CROSS SECTION CC', SEDIMENT EDGE TO BJARNI H-81; LITHOSTRATIGRAPHIE IV, MER DU LABRADOR, SECTION TRANSVERSALE STRATIGRAPHIQUE CC', BORDURE SEDIMENTAIRE A BJARNI H-81; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 32-33)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L. (1989). LITHOSTRATIGRAPHY V, LABRADOR SEA, STRATIGRAPHIC CROSS SECTION BB', SEDIMENT EDGE TO CORTE REAL P-85; LITHOSTRATIGRAPHIE I, MER DU LABRADOR, SECTION TRANSVERSALE STRATIGRAPHIQUE BB', BORDURE SEDIMENTAIRE A CORTE REAL P-85; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 34-35)

BELL, J.S.; MILLER, P.E. (1989). LITHOSTRATIGRAPHY VI, LABRADOR SEA, STRATIGRAPHIC CROSS SECTION AA', SEDIMENT EDGE TO KARLSEFNI A-13; LITHOSTRATIGRAPHIE I, MER DU LABRADOR, SECTION TRANSVERSALE STRATIGRAPHIQUE AA', BORDURE SEDIMENTAIRE A KARLSEFNI A-13; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 36-37)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L. (1989). BIOSTRATIGRAPHY, I, LABRADOR SEA, DEPOSITIONAL RATES IN SELECTED WELLS; BIOSTRATIGRAPHIE, I, MER DU LABRADOR, TAUX DE DEPOSITION DAN LES PUITS SELECTIONNES; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 50-51)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L. (1989). BIOSTRATIGRAPHY, II, LABRADOR SEA, CROSS SECTION 1; BIOSTRATIGRAPHIE, II, MER DU LABRADOR, SECTION TRANSVERSALE 1; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 52-53)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L. (1989). BIOSTRATIGRAPHY, III, LABRADOR SEA, CROSS SECTION 2; BIOSTRATIGRAPHIE, III, MER DU LABRADOR, SECTION TRANSVERSALE 2; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 54-55)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L. (1989). BIOSTRATIGRAPHY, IV, LABRADOR SEA, ZONATIONS IN SELECTED WELLS; BIOSTRATIGRAPHIE, IV, MER DU LABRADOR, ZONATIONS DANS LES PUITS SELECTIONNES; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 56-57)

BELL, J.S. (1989). STRUCTURE, I, LABRADOR SEA, SEISMIC INTERPRETATION SOUTH SAGLEK BASIN SW–NE DIP SECTION AND NORTH HOPEDALE BASIN SW–NE SECTION; STRUCTURE, I, MER DU LABRADOR, INTERPRETATION SISMIQUE PENDAGE SW–NE DU SUD BASSIN DE SAGLEK ET PENDAGE SW–NE DU NORD DU BASSINDE HOPEDALE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 58-59)

BELL, J.S. (1989). STRUCTURE, II, LABRADOR SEA, SEISMIC INTERPRETATION CENTRAL HOPEDALE BASIN SW–NE DIP SECTIONS, NW–SE STRIKE SECTION AND SOUTH HOPEDALE BASIN SW–NE DIP SECTION; STRUCTURE, II, MER DU LABRADOR, INTERPRETATION SISMIQUE PENDAGE SW–NE DU BASSIN CENTRAL DE HOPEDALE, LIGNE DIRECTRICE NW–SE ET PENDAGE SW–NE DU SUD DU BASSIN DE HOPEDALE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 60-61)

BELL, J.S. (1989). STRUCTURE, III, LABRADOR SEA, SEISMIC BASEMENT AND BASEMENT STRUCTURE; STRUCTURE, III, MER DU LABRADOR, SOUS AFFLEUREMENT AU SOCLE SISMIQUE ET STRUCTURE DU SOCLE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 62-63)

BELL, J.S. (1989). STRUCTURE, IV, LABRADOR SEA, TOP BJARNI AND TOP MARKLAND FORMATIONS; STRUCTURE, IV, MER DU LABRADOR, TOIT DES FORMATIONS DE BJARNI ET DE MARKLAND; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 64-65)

BELL, J.S. (1989). STRUCTURE, V, LABRADOR SEA, TOP GUDRID / CARTWRIGHT AND TOP KENAMU FORMATIONS; STRUCTURE, V, MER DU LABRADOR, LE TOIT DES FORMATIONS DE GUDRID/ CARTWRIGHT ET DE KENAMU; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 66-67)

BELL, J.S.; MOIR, P.N. (1989). ISOPACH/NET SANDSTONE, I, LABRADOR SEA, BJARNI FORMATION [EARLY CRETACEOUS]; ISOPAQUE / GRES PUR, I, MER DU LABRADOR, FORMATION DE BJARNI [CRETACE INFERIEUR]; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 70-71)

BELL, J.S.; MOIR, P.N. (1989). ISOPACH/NET SANDSTONE, II, LABRADOR SEA, MARKLAND FORMATION [LATE CRETACEOUS TO EARLY PALEOCENE]; ISOPAQUE/ GRES PUR, II, MER DU LABRADOR, FORMATION DE MARKLAND [CRETACE SUPERIEUR A PALEOCENE INFERIEUR]; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 72-73)

BELL, J.S.; MOIR, P.N. (1989). ISOPACH/NET SANDSTONE, III, LABRADOR SEA, GUDRID/ CARTWRIGHT FORMATIONS [EARLY PALEOCENE TO EARLY EOCENE]; ISOPAQUE/ GRES PUR, III, MER DU LABRADOR, FORMATIONS DES GUDRID / CARTWRIGHT [PALEOCENE INFERIEUR A EOCENE INFERIEUR]; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 74-75)

BELL, J.S.; MOIR, P.N. (1989). ISOPACH/NET SANDSTONE, IV, LABRADOR SEA, KENAMU FORMATION [EARLY TO LATE EOCENE]; ISOPAQUE/GRES PUR, IV, MER DU LABRADOR, FORMATION DE KENAMU [EOCENE INFERIEUR A SUPERIEUR]; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 76-77)

BELL, J.S.; AVERY, M.P. (1989). GEOCHEMISTRY, II, LABRADOR SEA, ORGANIC MATURATION TOP MARKLAND AND TOP BJARNI FORMATIONS; GEOCHIMIE, II, MER DU LABRADOR, MATURATION ORGANIQUE DES TOITS DES FORMATIONS MARKLAND ET BJARNI; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 88-89)

BELL, J.S. (1989). GEOCHEMISTRY, III, LABRADOR SEA, OIL-PRONE SOURCE ROCKS AND OIL AND GAS OCCURRENCE; GEOCHIMIE, III, MER DU LABRADOR, ROCHES POUVANT EVENTUELLEMENT CONTENIR DU PETROLE ET PRODUCTION DE PETROLE ET DE GAZ; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 90-91)

BELL, J.S.; ADAMS, J. (1989). GEOPHYSICS, III, LABRADOR SEA, CRUSTAL STRESS, EARTHQUAKES AND CRUSTAL THICKNESS; GEOPHYSIQUE, III, MER DU LABRADOR, CONTRAINTE SUR LA CROUTE, TREMBLEMENTS DE TERRE ET EPAISSEUR

DE LA CROUTE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 96-97)

BELL, J.S.; HOWIE, R.D.; MCMILLAN, N.J.; HAWKINS, C.M.; BATES, J.L. (1989). SEA FLOOR SPREADING HISTORY, III, LABRADOR SEA, PLATE RECONSTRUCTIONS, GRAVITY AND MAGNETIC ANOMALIES; EVOLUTION DES FONDS OCEANIQUES, III, MER DU LABRADOR, RECONSTRUCTIONS

CINEMATIQUES, ANOMALIES GRAVIMETRIQUES ET MAGNETIQUES; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 102-103)

BELL, J.S. (1989). STRESS IN SEDIMENTARY BASINS SEMINAR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02140 (96 pages)

BELL, R.T. (1989). A CONCEPTUAL MODEL FOR DEVELOPMENT OF MEGABRECCIAS AND ASSOCIATED MINERAL DEPOSITS IN WERNECKE MOUNTAINS, CANADA, COPPERBELT, ZAIRE, AND FLINDERS RANGE AUSTRALIA; in URANIUM RESOURCES AND GEOLOGY OF NORTH AMERICA, PROCEEDINGS TECHNICAL MEETING. (pages 149-169)

BROWN, D.M.; MCALPINE, K.D.; YOLE, R.W.. (1989). SEDIMENTOLOGY AND SANDSTONE DIAGENESIS OF HIBERNIA FORMATION IN HIBERNIA OIL FIELD, GRAND BANKS OF NEWFOUNDLAND. THE AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS BULLETIN VOL. 73 5 (pages 557-575, 17 FIGS., 2 TABLES)

BUCKLEY, D.E. (1989). GEOCHEMICAL EVIDENCE OF PORE–WATER ADVECTION ALONG A FAULT IN PLASTIC SEDIMENTS FROM THE SOUTHERN NARES ABYSSAL PLAIN [WESTERN NORTH ATLANTIC]; CHEMICAL GEOLOGY VOL. 75 1-2 (pages 43-60)

BUCKLEY, D.E.; HARGRAVE, B.T.; MUDROCH, P. (1989). GEOCHEMICAL DATA FROM ANALYSES OF SURFACE SEDIMENTS OBTAINED FROM HALIFAX INLET, NOVA SCOTIA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02042 (24 pages)

BUCKLEY, D.E. (1989). SMALL FRACTURES IN DEEP SEA SEDIMENTS: INDICATORS OF PwE FLUID MIGRATION ALONG COMPACTION FAULTS; in ADVANCES IN UNDERWATER TECHNOLOGY, OCEAN SCIENCE AND OFFSHORE ENGINEERING: DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE IN SEABED SEDIMENTS. ADVANCES IN UNDERWATER TECHNOLOGY, OCEAN SCIENCE AND OFFSHORE ENGINEERING VOL. 18 (pages 115-135)

CANT, D.J. (1989). SIMPLE EQUATIONS OF SEDIMENTATION: APPLICATIONS TO SEQUENCE STRATIGRAPHY. BASIN RESEARCH VOL. 2 (pages 73-81)

CARTER, R.W.G.; FORBES, D.L.; JENNINGS, S.C.; ORFORD, J.D.; SHAW, J.; TAYLOR, R.B. (1989). BARRIER AND LAGOON COAST EVOLUTION UNDER DIFFERING RELATIVE SEA-LEVEL REGIMES: EXAMPLES FROM IRELAND AND NOVA SCOTIA; MARINE GEOLOGY VOL. 88 3/4 (pages 221-242)

CARTER, R.W.G.; FORBES, D.L.; JENNINGS, S.C.; ORFORD, J.D.; SHAW, J.; TAYLOR, R.B.. (1989).BARRIER AND LAGOON COAST EVOLUTION UNDER DIFFERING RELATIVE SEA-LEVEL REGIMES: EXAMPLES FROM IRELAND AND NOVA SCOTIA. MARINE GEOLOGY VOL 88 (pages 221-242)

CHRISTIAN, H.A. (1989). OPERATION MANUAL FOR MODIFIED GEOTEST BACK PRESSURED CONSOLIDOMETERS A AND B. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02085 (40 pages)

D'APOLLONIA, S.J. (1989). EVALUATION OF THE GLORIA CD-ROM DATA SYSTEM FOR THE GULF OF MEXICO PRODUCED BY THE U.S. GEOLOGICAL SURVEY AND THE NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02199 (20 pages)

DEVOOGD, B.; KEEN, C. (1989). DEEP SEISMIC-REFLECTION PROFILING. in: ENCYCLOPEDIA OF EARTH SCIENCES: THE ENCYCLOPEDIA OF SOLID EARTH GEOPHYSICS; ED. D.E. JAMES. (VAN NOSTRAND REINHOLD: NEW YORK: 1989) (pages 181-190)

CHRISTENSEN, N.I.; SALISBURY, M.H. (1989). VELOCITY STRUCTURE OF THE TROODOS MASSIF, AN ARC-DERIVED OPHIOLITE; in CYPRUS CRUSTAL STUDY PROJECT: INITIAL REPORT, HOLE CY-4. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-09 (pages 351-369)

DURLING, P.W.; MARILLIER, F. (1989). MARINE MULTICHANNEL DEEP SEISMIC REFLECTION DATA FROM THE GULF OF ST. LAWRENCE. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01990 (50 pages)

EDWARDS, A. (1989). SEISMIC STUDIES OF THE JEANNE D'ARC BASIN. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02098 (5 pages)

EDWARDS, A. (1989). SEISMIC REPROCESSING RESULTS FROM GULF CANADA LINE 8047-08, JEANNE D'ARC BASIN, NEWFOUNDLAND. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02111 (4 pages)

FADER, G.B.; CAMERON, G.D.M.; BEST, M.A. (1989). GEOLOGY OF THE CONTINENTAL MARGIN OF EASTERN CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, "A" SERIES MAP 01705A

FADER, G.B.J. (1989). CRUISE REPORT 88-018 [D] PHASE 6/7–M V NAVICULA NORTHUMBERLAND STRAIT–JULY 8-23, 1988. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01971 (31 pages)

FADER, G.B.J. (1989). SUBMERSIBLE OBSERVATIONS OF ICEBERG FURROWS AND SAND RIDGES, GRAND BANKS OF NEWFOUNDLAND; in SUBMERSIBLE OBSERVATIONS OFF THE EAST COAST OF CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-20 (pages 27-39)

FADER, G.B.J.; PECORE, S.S. (1989). SURFICIAL GEOLOGY OF THE ABEGWEIT PASSAGE AREA OF NORTHUMBERLAND STRAIT, GULF OF ST. LAWRENCE. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02087 (5 pages)

FITZGERALD, R.A.; WINTERS, G.V.; BUCKLEY, D.E.; LEBLANC, K.W.G. (1989). GEOCHEMICAL DATA FROM ANALYSES OF SEDIMENTS AND PORE WATER OBTAINED FROM PISTON CORES AND BOX CORES TAKEN FROM BEDFORD BASIN, LAHAVE BASIN, EMERALD BASIN AND THE SLOPE OF THE SOUTHERN SCOTIAN SHELF, HUDSON CRUISE 88-010. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01984 (48 pages)

FORBES, D.L.; TAYLOR, R.B.; SHAW, J. (1989). SHORELINES AND RISING SEA LEVELS IN EASTERN CANADA; EPISODES VOL. 12 1 (pages 23-28)

FORBES, D.L.; SHAW, J. (1989). CRUISE REPORT 88018 [E]: NAVICULA OPERATIONS IN SOUTHWEST NEWFOUNDLAND COASTAL WATERS: PORT AU PORT BAY, ST. GEORGE'S BAY, LA POILE BAY TO BARASWAY BAY AND ADJACENT INNER SHELF. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02041 (61 pages)

FORBES, D.L.; BOYD, R.; SHAW, J.; JOHNSTON, L.; HEFFLER, D.E.; MCLAREN, S. (1989). CRUISE REPORT 87042: CSS DAWSON OPERATIONS ON INNER SCOTIAN SHELF AND SABLE ISLAND BANK. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02063 (53 pages)

FORBES, D.L.; BOYD, R. (1989). SUBMERSIBLE OBSERVATIONS OF SURFICIAL SEDIMENTS AND SEAFLOOR MORPHOLOGY ON THE INNER SCOTIAN SHELF; in SUBMERSIBLE OBSERVATIONS OFF THE EAST COAST OF CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-20 (pages 71-81)

FORBES, D.L.; DRAPEAU, G. (1989). NEAR-BOTTOM CURRENTS AND SEDIMENT TRANSPORT ON THE INNER SCOTIAN SHELF: SEA-FLOOR RESPONSE TO WINTER STORMS DURING CASP; ATMOSPHERE-OCEAN VOL. 27 1 (pages 258-278)

GILBERT, R.; MACNAB, R. (1989). A STUDY INTO THE FEASIBILITY OF MEASURING GRAVITY FROM AIRSHIPS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02116 (46 pages)

GIPP, M.R.; PIPER, D.J.W. (1989). CHRONOLOGY OF LATE WISCONSINAN GLACIATION, EMERALD BASIN, SCOTIAN SHELF; CANADIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES VOL. 26 2 (pages 333-335)

GRANT, A.C. (1989). SUBSURFACE MAPS OF THE CONTINENTAL MARGIN AROUND NEWFOUNDLAND. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02070 (3 pages)

HACQUEBARD, P.A.; AVERY, M.P. (1989). ON THE DEVELOPMENT AND PETROGRAPHY OF THE PHALEN SEAM IN THE LINGAN COLLIERY AND ADJACENT AREAS OF THE SYDNEY COALFIELD, NOVA SCOTIA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02066 (20 pages)

HACQUEBARD, P.A.; CAMERON, A.R. (1989). DISTRIBUTION AND COALIFICATION PATTERNS IN CANADIAN BITUMINOUS AND ANTHRACITE COALS; in COAL: CLASSIFICATION, COALIFICATION, MINERALOGY, TRACE—ELEMENT CHEMISTRY, AND OIL AND GAS POTENTIAL. INTERNATIONAL JOURNAL OF COAL GEOLOGY VOL. 13 (pages 207-260)

HACQUEBARD, P.A. (1989). THE WANDERINGS OF DONSEXINIS STACH, 1957, ALIAS

DENSOSPORITES S.W.&B, 1944 IN THE NORTH ATLANTIC OCEAN. A FORENSIC GEOLOGY INVESTIGATION; in ERICH STACH MEMORIAL ISSUE. INTERNATIONAL JOURNAL OF COAL GEOLOGY VOL. 14 (pages 15-27)

HALL, J.; QUINLAN, G.; WRIGHT, J.; KEEN, C.; MARILLIER, F. (1989).STYLES OF DEFORMATION OBSERVED ON DEEP SEISMIC REFLECTION PROFILES OF THE APPALACHIAN-CALEDONIDE SYSTEM. in: PROPERTIES AND PROCESSES OF THE EARTH'S LOWER CRUST; ED. R.F. MEREAU, S MUELLER AND D M FOUNTAIN; GEOPHYSICAL wNOGRAPH SERIES, AMERICAN GEOPHYSICAL UNION VOL 51 (pages 33-43)

HARDY, I.A.; JARRETT, K.A.; FRASER, D.S.; BARTLETT, C.; BEAVER, D.; MERCHANT, S. (1989). AN INDEX TO SAMPLES AND GEOPHYSICAL RECORDS COLLECTED BY THE ATLANTIC GEOSCIENCE CENTRE FOR 1988. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02032 (196 pages)

HEIN, F.J.; SYVITSKI, J.P.M. (1989). SEA FLOOR GOUGES AND PITS IN DEEP FJORDS, BAFFIN ISLAND: POSSIBLE MAMMALIAN FEEDING TRACES; GEO-MARINE LETTERS VOL. 9 2 (pages 91-94)

HEIN, F.J. (1989). EVALUATION OF PETROGRAPHIC AND MINERALOGIC ANALYSIS FOR MARINE PLACER SEDIMENTS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02141 (73 pages)

HEQUETTE, A. (1989). 1988 CANADIAN BEAUFORT SEA COAST SURVEY, FIELD SURVEY REPORT [CRUISE REPORT NO. 88310]. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02084 (15 pages)

HEQUETTE, A. (1989). SUMMARY OF RESEARCH ACTIVITIES DURING 1987-1989 VISITING FELLOWSHIP AT THE ATLANTIC GEOSCIENCE CENTRE. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02142 (304 pages)

HILL, P.R.; NADEAU, O.C. (1989).STORM-DOMINATED SEDIMENTATION ON THE INNER SHELF OF THE CANADIAN BEAUFORT SEA VOL. 59 3 (pages 455-468)

HUGHES CLARKE, J.E.; MAYER, L.A.; PIPER, D.J.W.; SHOR, A.N. (1989). PISCES IV SUBMERSIBLE OBSERVATIONS IN THE EPICENTRAL REGION OF THE 1929 GRAND BANKS EARTHQUAKE; in SUBMERSIBLE OBSERVATIONS OFF THE EAST COAST OF CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-20 (pages 57-69)

JOSENHANS, H.W.; BARRIE, J.V. (1989). SUBMERSIBLE OBSERVATIONS ON THE LABRADOR SHELF, HUDSON STRAIT AND BAFFIN SHELF; in SUBMERSIBLE OBSERVATIONS OFF THE EAST COAST OF CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-20 (pages 41-56)

JOSENHANS, H.W.; ZEVENHULZEN, J. (1989). QUATERNARY GEOLOGY I, LABRADOR SEA, QUATERNARY HISTORY; GEOLOGIE QUATERNAIRE II, MER DU LABRADOR, HISTOIRE QUATERNAIRE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 8-9)

JOSENHANS, H.W.; SANFORD, B.V.; SPARKES, R.; JOHNSTON, B.L.; BOYCE, A.; NIELSEN, J.; BELLIVEAU, M. (1989). BAFFIN 89-008 CRUISE REPORT, GULF OF ST. LAWRENCE. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02115 (68 pages)

KAY, W.; KEEN, C.E. (1989). STRUCTURE, VI, LABRADOR SEA, NORTH HOPEDALE BASIN CRUSTAL TRANSECT; STRUCTURE, VI, MER DU LABRADOR, SECTION TRANSVERSALE DE LA CROUTE AU NORD DU BASSIN DE HOPEDALE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 68-69)

KEEN, C.; PEDDY, C.; DE VOOGD, B.; MATTHEWS, D. (198902). CONJUGATE MARGINS OF CANADA AND EUROPE: RESULTS FROM DEEP REFLECTION PROFILING; GEOLOGY VOL. 17 2 (pages 173-176)

KEEN, M.J. (1989). CHANGING EARTH SCIENCES; GEOSCIENCE CANADA VOL. 16 2 (pages 61-66)

KING, L.H.; FADER, G.B.J. (1989). LATE WISCONSIN ICE ON THE SCOTIAN SHELF. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01972 (14 pages)

KING, L.H.; FADER, G.B.J. (1989). A COMPARISON BETWEEN THE LAKE WISCONSINAN HISTORY OF SOUTHWEST AND NORTHEAST EMERALD BASIN, SCOTIAN SHELF. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02060 (15 pages)

LAWRENCE, P.; STRONG, K.W.; POCKLINGTON, P.; STEWART, P.L.; FADER, G.B.J. (1989). A PHOTOGRAPHIC ATLAS OF THE EASTERN CANADIAN CONTINENTAL SHELF: SCOTIAN SHELF, GRAND BANKS OF NEWFOUNDLAND. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02054 (195 pages)

LEWIS, C.F.M. (1989). NORTH POLE GEOLOGY UNDER THE SEA ICE AT LOREX 79; in SELECTED LOREX CONTRIBUTIONS, LOREX 79. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02009 (pages 16-22)

MACLEAN, B.; SONNICHSEN, G.; VILKS, G.; POWELL, C.; MORAN, K.; JENNINGS, A.; HODGSON, D.; DEONARINE, B. (1989). MARINE GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS IN WELLINGTON, BYAM MARTIN, AUSTIN, AND ADJACENT CHANNELS, CANADIAN ARCTIC ARCHIPELAGO. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 89-11 (69 pages)

MACLEAN, B.C.; EDWARDS, A.; MCALPINE, K.D.; WADE, J.A. (1989). THE ENIGMATIC AVALON UNCONFORMITY. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02099 (4 pages)

MALPAS, J.; ROBINSON, P.T.; SALISBURY, M. (1989). GEOLOGY AND GEOPHYSICS OF BOREHOLE CY-4 OF THE CYPRUS CRUSTAL STUDY PROJECT: SUMMARY; in CYPRUS CRUSTAL STUDY PROJECT: INITIAL REPORT, HOLE CY-4. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-09 (pages 381-393)

MARILLIER, F.; KEEN, C.E.; STOCKMAL, G.S. (1989). SEISMIC REFLECTION PROBES THE DEEP STRUCTURE OF THE CANADIAN APPALACHIANS. GEOS 1989/1 (pages 16-20)

MCALPINE, K.D.; EDWARDS, A. (1989). MESOZOIC STRATIGRAPHY OF THE JEANNE D'ARC BASIN. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02097 (7 pages)

MCALPINE, K.D. (1989). LITHOSTRATIGRAPHY OF FIFTY-NINE WELLS, JEANNE D'ARC BASIN. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02201 (97 pages)

MILLER, P.E.; BELL, J.S. (1989). PALEOGEOGRAPHY, I, LABRADOR SEA, EARLY TO MIDDLE ALBIAN AND TURONIAN TO SANTONIAN PALEOENVIRONMENTS; PALEOGEOGRAPHIE, I, MER DU LABRADOR, PALEOENVIRONNEMENTS DE L'ALBIEN MOYEN INFERIEUR ET DU TURONIEN AU SANTONIEN; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 78-79)

MILLER, P.E.; BELL, J.S. (1989). PALEOGEOGRAPHY, II, LABRADOR SEA, MAASTRICHTIAN AND EARLY PALEOCENE PALEOENVIRONMENTS; PALEOGEOGRAPHIE, II, MER DU LABRADOR, PALEOENVIRONNEMENTS DU MAASTRICHTIEN ET DU PALEOCENE INFERIEUR; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 80-81)

MILLER, P.E. (1989). PALEOGEOGRAPHY, III, LABRADOR SEA, EARLIEST EARLY EOCENE AND MIDDLE EOCENE PALEOENVIRONMENTS; PALEOGEOGRAPHIE, III, MER DU LABRADOR, PALEOENVIRONNEMENTS DU DEBUT ET DE L'EOCENE MOYEN DE L'EOCENE INFERIEUR; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 82-83)

MILLER, P.E.; BELL, J.S. (1989). PALEOGEOGRAPHY, IV, LABRADOR SEA, LATE EOCENE AND EARLY OLIGOCENE PALEOENVIRONMENTS; PALEOGEOGRAPHIE, IV, MER DU LABRADOR, PALEOENVIRONNEMENTS DE L'EOCENE SUPERIEUR ET DE L'OLIGOCENE INFERIEUR; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 84-85)

MILLER, R.O. (1989). CRUISE REPORT–ARCTIC PROWLER, TELEGLOBE CANADA SURVEY FOR TAT–9. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02013 (15 pages)

MILLER, R.O. (1989). CRUISE REPORT 87-047, M.V. NAVICULA: CAPE BRETON NEARSHORE, FLINT ISLAND TO CAPE SMOKEY. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02014 (9 pages)

MILLER, R.O.; FADER, G.B.J. (1989). INNER-SHELF SURFICIAL GEOLOGY–FLINT ISLAND TO CAPE SMOKY, CAPE BRETON ISLAND, NOVA SCOTIA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02082 (17 pages)

MILLER, R.O.; FADER, G.B.J. (1989). CRUISE REPORT 88-018[A] PHASE I, F.R.V. NAVICULA, HALIFAX–SAMBRO, MAY 26TH–JUNE 2ND, 1988. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02093 (22 pages)

MILLER, R.O.; FADER, G.B.J. (1989). CRUISE REPORT 88-018 [B] PHASE II; 88-018[B] PHASE

III, F.R.V. NAVICULA, YARMOUTH, SOUTH-YARMOUTH, NORTH, JUNE 5TH-JUNE 17TH, 1988. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02143 (24 pages)

MOIR, P.N. (1989). LITHOSTRATIGRAPHY I, LABRADOR SEA, REVIEW AND TYPE SECTIONS; LITHOSTRATIGRAPHIE I, MER DU LABRADOR, REVUE ET SECTIONS TYPES; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 26-27)

MOIR, P.N.; BELL, J.S. (1989). GEOCHEMISTRY, I, LABRADOR SEA, GEOTHERMAL GRADIENTS AND DEPTH TO GAS GENERATION; GEOCHIMIE, I, MER DU LABRADOR, GRADIENTS GEOTHERMIQUES ET PROFONDEUR DE LA COUCHE GENERATRICE DE GAZ; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 86-87)

MOORE, R.M. (1989). OCEANOGRAPHIC DISTRIBUTIONS OF ZINC, CADMIUM, COPPER AND ALUMINIUM IN WATERS OF THE CENTRAL ARCTIC; in SELECTED LOREX CONTRIBUTIONS, LOREX 79. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02009 (pages 243-250)

MOORE, R.M. (1989). THE RELATIONSHIP BETWEEN DISTRIBUTIONS OF DISSOLVED CADMIUM, IRON AND ALUMINIUM AND HYDROGRAPHY IN THE CENTRAL ARCTIC OCEAN; in SELECTED LOREX CONTRIBUTIONS, LOREX 79. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02009 (pages 251-262)

MOORE, R.M.; LOWINGS, M.G.; TAN, F.C. (1989). GEOCHEMICAL PROFILES IN THE CENTRAL ARCTIC OCEAN: THEIR RELATION TO FREEZING AND SHALLOW CIRCULATION; in SELECTED LOREX CONTRIBUTIONS, LOREX 79. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02009 (pages 273-280)

MORAN, K.; HILL, P.R.; BLASCO, S.M. (1989). INTERPRETATION OF PIEZOCONE PENETROMETER PROFILES IN SEDIMENT FROM THE MACKENZIE TROUGH, CANADIAN BEAUFORT SEA; JOURNAL OF SEDIMENTARY PETROLOGY VOL. 59 01 (pages 88-97)

MORAN, K.; PIPER, D.J.W.; MAYER, L.A.; COURTNEY, R.C.; DRISCOLL, A.H.; HALL, F.R. (1989). SCIENTIFIC RESULTS OF LONG CORING ON THE EASTERN CANADIAN CONTINENTAL MARGIN. in: PROCEEDINGS: OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE (HOUSTON, TEXAS : 21ST : 1989) (pages 65-71)

MORAN, K.; HILL, P.R.; BLASCO, S.M. (1989).INTERPRETATION OF PIEZOCONE PENETROMETER PROFILES IN SEDIMENT FROM THE MACKENZIE TROUGH, CANADIAN BEAUFORT SEA. JOURNAL OF SEDIMENTARY PETROLOGY VOL. 59 1 (pages 88-97)

MORAN, K. (1989). ENGINEERING CONSTRAINTS TO OFFSHORE DEVELOPMENT, LABRADOR SEA; CONTRAINTES AU NIVEAU DE L'INGENIERIE DU DEVELOPPEMENT DE L'EXPLOITATION OFFSHORE, MER DU LABRADOR; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (page 9)

MORRIS, T.H.; CLARK, D.L.; BLASCO, S.M. (1989). SEDIMENTS OF THE LOMONOSOV RIDGE AND MAKAROV BASIN: A PLEISTOCENE STRATIGRAPHY FOR THE NORTH POLE; in SELECTED LOREX CONTRIBUTIONS, LOREX 79. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02009 (pages 149-158)

MORRIS, T.H.; CLARK, D.L. (1989). PLEISTOCENE CALCITE LYSOCLINE AND PALEOCURRENTS OF THE CENTRAL ARCTIC OCEAN AND THEIR PALEOCLIMATIC SIGNIFICANCE; in SELECTED LOREX CONTRIBUTIONS, LOREX 79. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02009 (pages 159-173)

MOSHER, D.C.; MUDIE, P.J.; SONNICHSEN, G.V. (1989). ICE ISLAND SAMPLING AND INVESTIGATION OF SEDIMENTS, FIELD REPORT 1988. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02043 (42 pages)

OAKEY, G.N.; CURRIE, C.; DURLING, P. (1989). A DIGITAL COMPILATION OF DEPTH TO BASEMENT OF THE EAST COAST OF CANADA AND ADJACENT AREAS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01964 (26 pages)

OKULITCH, A.V.; LOPATIN, B.G.; JACKSON, H.R. (1989). CIRCUMPOLAR GEOLOGICAL MAP OF THE ARCTIC. CARTE GEOLOGIQUE CIRCUMPOLAIRE DE L 'ARCTIQUE. TSIRKUMPOLIARNAIA GEOLOGICHESKAIA KARTE ARCTIKI. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, "A" SERIES MAP 1765A

PARROTT, D.R.; LEWIS, C.F.M.; SONNICHSEN, G.V.; MOSHER, D.C.; DOUMA, M.; LEWIS, J.; STEWART, J.M.; KIMBALL, D.P. (1989). NEAR-SURFACE SEISMIC REFLECTION STUDIES OF THE JEANNE D'ARC BASIN, NORTHEASTERN GRAND BANKS OF NEWFOUNDLAND; in CURRENT RESEARCH PART A, ABSTRACTS. RECHERCHES EN COURS PARTIE A, RESUMES. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 89-01A (page 9)

PARROTT, D.R.; LEWIS, C.F.M.; SONNICHSEN, G.V.; MOSHER, D.C.; DOUMA, M.; LEWIS, J.; STEWART, J.M.; KIMBALL, D.P. (1989). NEAR-SURFACE SEISMIC REFLECTION STUDIES OF THE JEANNE D'ARC BASIN, NORTHEASTERN GRAND BANKS OF NEWFOUNDLAND; in CURRENT RESEARCH PART B, EASTERN AND ATLANTIC CANADA. RECHERCHES EN COURS PARTIE B, EST ET ATLANTIQUE DU CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 89-01B (pages 67-73)

PE-PIPER, G.; LONCAREVIC, B.D. (1989). OFFSHORE CONTINUATION OF MEGUMA TERRANE, SOUTHWESTERN NOVA SCOTIA; CANADIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES VOL. 26 1 (pages 176-191)

PE-PIPER, G.; PIPER, D.J.W. (1989). THE UPPER HADRYNIAN JEFFERS GROUP, COBEQUID HIGHLANDS, AVALON ZONE OF NOVA SCOTIA: A BACK-ARC VOLCANIC COMPLEX; GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA BULLETIN VOL. 101 (pages 364-376)

PE-PIPER, G.; PIPER, D.J.W. (1989). THE GEOLOGICAL SIGNIFICANCE OF MANGANESE DISTRIBUTION IN JURASSIC-CRETACEOUS ROCKS OF THE PINDOS BASIN, PELOPONNESE, GREECE; SEDIMENTARY GEOLOGY VOL. 65 1/2 (pages 127-137)

PE-PIPER, G.; CORMIER, R.F.; PIPER, D.J.W. (1989). THE AGE AND SIGNIFICANCE OF CARBONIFEROUS PLUTONS OF THE WESTERN COBEQUID HIGHLANDS, NOVA SCOTIA; CANADIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES VOL. 26 6 (pages 1297-1307)

PE-PIPER, G.; PIPER, D.J.W. (1989). SPATIAL AND TEMPORAL VARIATION IN LATE CENOZOIC BACK-ARC VOLCANIC ROCKS, AEGEAN SEA REGION; TECTONOPHYSICS VOL. 169 1/2 (pages 113-134)

PIPER, D.J.W. (1989). SUBMERSIBLE OBSERVATIONS OF THE EAST COAST OF CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-20 (81 pages)

PIPER, D.J.W. (1989). THE 1985 ATLANTIC GEOSCIENCE CENTRE PISCES IV SUBMERSIBLE PROGRAM; in SUBMERSIBLE OBSERVATIONS OFF THE EAST COAST OF CANADA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-20 (pages 3-7)

PIPER, D.J.W. (1989). DEEP WATER SEDIMENTS I, LABRADOR SEA, ACOUSTIC INTERPRETATION, MID-PLIOCENE TO BASAL PLEISTOCENE; SEDIMENTS EN EAU PROFONDE I, MER DU LABRADOR, INTERPRETATION ACOUSTIQUE DU PLIOCENE MOYEN AU PLEISTOCENE INFERIEUR; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 18-19)

PIPER, D.J.W.; NORMARK, W.R. (1989). LATE CENOZOIC SEA-LEVEL CHANGES AND THE ONSET OF GLACIATION: IMPACT ON CONTINENTAL SLOPE PROGRADATION OFF EASTERN CANADA; MARINE AND PETROLEUM GEOLOGY VOL. 6 4 (pages 336-347)

PODROUZEK, A.J.; BELL, J.S. (1989). WELL BORE BREAKOUT MEASUREMENTS FROM MACKENZIE DELTA AND BEAUFORT SEA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02105 (109 pages)

ROEST, W.R.; SRIVASTAVA, S.P. (1989). SEAFLOOR SPREADING IN THE LABRADOR SEA: A NEW CONSTRUCTION. GEOLOGY VOL. 17 (pages 1000-1003)

ROEST, W.R.; SRIVASTAVA, S.P. (1989). SEA FLOOR SPREADING HISTORY, I, LABRADOR SEA, MAGNETIC ANOMALIES ALONG TRACK; EVOLUTION DES FONDS OCEANIQUES, I, MER DU LABRADOR, ANOMALIES MAGNETIQUES LE LONG DES PROFILES; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 98-99)

RUFFMAN, A.; VAN HINTE, J.E. (1989). DEVONIAN SHELF-DEPTH LIMESTONE DREDGED FROM ORPHAN KNOLL: A 1971 DISCOVERY AND A REASSESSMENT OF THE HUDSON 78-020 DREDGE HAULS FROM ORPHAN KNOLL. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02065 (128 pages)

SALISBURY, M.H.; CHRISTENSEN, N.I.; VINE, F.J.; SMITH, G.C.; ELEFTHERIOU, S. (1989). GEOPHYSICAL STRUCTURE OF THE TROODOS OPHIOLITE FROM DOWNHOLE LOGGING; in CYPRUS CRUSTAL STUDY PROJECT: INITIAL REPORT, HOLE CY-4. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-09 (pages 331-349)

SCHAFER, C.T.; COLE, F.E.; SYVITSKI, J.P.M. (1989). BIO—AND LITHOFACIES OF MODERN SEDIMENTS IN KNIGHT AND BUTE INLETS, BRITISH COLUMBIA; PALAIOS VOL. 4 2 (pages 107-126)

SHAW, J.; JOHNSTON, L.; WILE, B. (1989). CRUISE REPORT 89026, NAVICULA OPERATIONS IN PLACENTIA BAY, NEWFOUNDLAND. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02029 (72 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED ANALOG GEOPHYSICAL DATA FOR AGC CRUISE NO. 85001, SCOTIAN SLOPE AND LAURENTIAN FAN. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01447 (9 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED ANALOG GEOPHYSICAL DATA FOR AGC CRUISE NO. 84021, CONTINENTAL MARGIN, SOUTHWEST GRAND BANKS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01450 (10 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED BATHYMETRY, HUNTEC, AND AIRGUN DATA FOR AGC CRUISE NO. 85044, FLEMISH PASS, GRAND BANKS OF NEWFOUNDLAND. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01450 (9 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED BATHYMETRY AND AIRGUN SEISMIC GEOPHYSICAL DATA FOR AGC CRUISE NO. 85025, CONTINENTAL MARGIN SOUTH OF FLEMISH CAP. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01453 (9 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED 3.5 KHZ BATHYMETRY DATA FOR AGC CRUISE NO. 85200, ICE ISLAND. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01458 (9 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED ANALOG GEOPHYSICAL DATA FOR AGC CRUISE NO. 84030, LABRADOR SEA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01470 (11 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED ANALOG GEOPHYSICAL DATA FOR AGC/CHS CRUISE NO. 82034, BAFFIN BAY, DAVIS STRAIT, CUMBERLAND SOUND AND HUDSON BAY. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01521 (10 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED BATHYMETRIC DATA FROM CRUISE 79015 [PHASE III], SCOTIAN SHELF. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01526 (8 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED BATHYMETRIC AND SEISMIC PROFILES FROM CRUISE 80030, NEARSHORE NORTHEAST NEWFOUNDLAND. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01527 (9 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED BATHYMETRY DATA FROM CRUISE 77024, LABRADOR SEA, DAVIS STRAIT, BAFFIN BAY, LANCASTER SOUND, JONES SOUND AND SMITH SOUND, EASTERN ARCTIC. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01551 (9 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED ANALOG GEOPHYSICAL DATA FOR AGC CRUISE NO. 83039, BEDFORD BASIN, NOVA SCOTIA. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01559 (7 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED ANALOG GEOPHYSICAL DATA FOR AGC CRUISE NO. 82018, NORTHWEST ATLANTIC: EAST BERMUDA RISE AND SOUTHERN/NORTHERN NARES ABYSSAL PLAIN. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01560 (9 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED ANALOG GEOPHYSICAL DATA FOR AGC CRUISE NO. 83110, CONTINENTAL MARGIN SOUTHWEST GRAND BANKS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01564 (9 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED BATHYMETRIC PROFILES FROM THE LASE [LARGE APERTURE SEISMIC EXPERIMENT] CRUISE 81020, CONTINENTAL MARGIN OF EASTERN UNITED STATES, OFF NEW JERSEY. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01573 (9 pages)

SHERIN, A.G.; HARDY, I.A.; MERCHANT, S.; BEAVER, D.E.; HOLT, D.; CASH, M . (1989). A 35 MM MICROFILM COMPILATION OF COLLECTED BATHYMETRIC AND SEISMIC DATA FROM CRUISE 80004, SCOTIAN SHELF. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01578 (8 pages)

SHIH, K.G.; JACKSON, H.R.; KAY, W.; WOODSIDE, J. (1989). GEOPHYSICS, III, LABRADOR SEA, CRUSTAL STRESS, EARTHQUAKES AND CRUSTAL THICKNESS; GEOPHYSIQUE, III, MER DU LABRADOR, CONTRAINTE SUR LA CROUTE, TREMBLEMENTS DE TERRE ET EPAISSEUR DE LA CROUTE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 96-97)

SHOR, A.N.; PIPER, D.J.W. (1989). A LARGE LATE PLEISTOCENE BLOCKY DEBRIS FLOW ON THE CENTRAL SCOTIAN SLOPE; GEO-MARINE LETTERS VOL. 9 3 (pages 153-160)

SRIVASTAVA, S.P.; ROEST, W.R. (1989). SEA FLOOR SPREADING HISTORY, II, LABRADOR SEA, PLATE RECONSTRUCTIONS, BATHYMETRY; EVOLUTION DES FONDS OCEANIQUES, II, MER DU LABRADOR, RECONSTRUCTIONS CINEMATIQUES, BATHYMETRIE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 100-101)

SRIVASTAVA, S.P.; ROEST, W.R. (1989). SEA FLOOR SPREADING HISTORY, IV, LABRADOR SEA, PLATE RECONSTRUCTION, CLOSURE BATHYMETRY; EVOLUTION DES FONDS OCEANIQUES, V, MER DU LABRADOR, RECONSTRUCTION CINEMATIQUES, FERMETURE BATHYMETRIE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 104-105)

SRIVASTAVA, S.P.; ROEST, W.R. (1989). SEA FLOOR SPREADING HISTORY, V, LABRADOR SEA, PLATE RECONSTRUCTION, CLOSURE GRAVITY ANOMALY; EVOLUTION DES FONDS OCEANIQUES, V, MER DU LABRADOR, RECONSTRUCTIONS CINEMATIQUES, FERMETURE ANOMALIE GRAVIMETRIQUE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 106-107)

SRIVASTAVA, S.P.; ROEST, W.R. (1989). SEA FLOOR SPREADING HISTORY, VI, LABRADOR SEA, PLATE RECONSTRUCTION, CLOSURE MAGNETIC ANOMALY; EVOLUTION DES FONDS OCEANIQUES, VI, MER DU LABRADOR, RECONSTRUCTION CINEMATIQUES, FERMETURE ANOMALIE MAGNETIQUE; in LABRADOR SEA. in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (page 108)

SWEENEY, J.F.; WEBER, J.R.; BLASCO, S.M. (1989). CONTINENTAL RIDGES IN THE ARCTIC OCEAN: LOREX CONSTRAINTS; in SELECTED LOREX CONTRIBUTIONS, LOREX 79. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02009 (pages 45-65)

SYVITSKI, J.P.M. (1989). ON THE DEPOSITION OF SEDIMENT WITHIN GLACIER-INFLUENCED FIORDS: OCEANOGRAPHIC CONTROLS; in MODERN GLACIMARINE ENVIRONMENTS: GLACIAL AND MARINE CONTROLS OF MODERN LITHOFACIES AND BIOFACIES. MARINE GEOLOGY VOL. 85 2/4 (pages 301-329)

SYVITSKI, J.P.M.; FARROW, G.E. (1989). FIORD SEDIMENTATION AS AN ANALOGUE FOR SMALL HYDROCARBON-BEARING FAN DELTAS; in DELTAS: SITES AND TRAPS FOR FOSSIL FUELS. GEOLOGICAL SOCIETY SPECIAL PUBLICATION 41 (pages 21-43)

TAYLOR, R.B.; LUCAS, Z. (1989). TERRAIN MANAGEMENT ACTIVITIES ON SABLE ISLAND 1982 TO 1985. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01973 (144 pages)

THIBAULT, J.; FROBEL, D. (1989). THE COASTLINE OF NEW BRUNSWICK FROM SAINT JOHN HARBOUR TO CAPE ENRAGE. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01979

THOMAS, F.C. (1989). COMPARISON OF MICROFOSSIL/SEDIMENT SEPARATIONS

PERFORMED BY TWO MAGNETIC SEPARATION SYSTEMS. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02096 (14 pages)

TODD, B.J.; REID, I. (1989). THE CONTINENT-OCEAN BOUNDARY SOUTH OF FLEMISH CAP: CONSTRAINTS FROM SEISMIC REFRACTION AND GRAVITY. CANADIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES VOL. 26 7 (pages 1392-1407)

VAN WAGONER, N.A.; MUDIE, P.J.; COLE, F.A.; DABORN, G. (1989). SILICEOUS SPONGE COMMUNITIES, BIOLOGICAL ZONATION, AND RECENT SEA-LEVEL CHANGE ON THE ARCTIC MARGIN: ICE ISLAND RESULTS. CANADIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES VOL. 26 (pages 2341-2355)

WEAVER, P.P.E.; BUCKLEY, D.E.; KUIJPERS, A. (1989). GEOLOGICAL INVESTIGATIONS OF ESOPE CORES FROM MADEIRA ABYSSAL PLAIN. in: GEOSCIENCE INVESTIGATIONS OF TWO NORTH ATLANTIC ABYSSAL PLAINS: THE ESOPE INTERNATIONAL EXPEDITION, VOLUME 1; ED. R.T.E. SCHUTTENHELM, G.A. AUFFRET, D.E. BUCKLEY, R.E. CRANSTON, C.N. MURRAY, L.E. SHEPHARD, AND A.E. SPJKSTRA. (JOINT RESEARCH CENTRE : COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES : 1989) (pages 535-555)

VERHOEF, J.; MACNAB, R. (1989). DEFINITIVE MAGNETIC REFERENCE FIELD [DORF] EVALUATION BASED ON MARINE MAGNETIC ANOMALIES; PHYSICS OF THE EARTH AND PLANETARY INTERIORS VOL. 54 3-4 (pages 332-339)

VILKS, G.; MACLEAN, B.; DEONARINE, B.; CURRIE, C.G.; MORAN, K. (1989). LATE QUATERNARY PALEOCEANOGRAPHY AND ENVIRONMENTS IN HUDSON STRAIT. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02017 (71 pages)

VILKS, G.; RODRIGUES, C. (1989). DAWSON CRUISE 89-007, GULF OF ST. LAWRENCE. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 02119 (114 pages)

WADE, J.A.; CAMPBELL, G.R.; PROCTER, R.M.; TAYLOR, G.C. (1989). PETROLEUM RESOURCES OF THE SCOTIAN SHELF. RESSOURCES PETROLIERES DE LA PLATE-FORME NEO-ECOSSAISE. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-19 (26 pages)

WALDRON, J.W.F.; PIPER, D.J.W.; PE-PIPER, G. (1989). DEFORMATION OF THE CAPE CHIGNECTO PLUTON, COBEQUID HIGHLANDS, NOVA SCOTIA: THRUSTING AT THE MEGUMA–AVALON BOUNDARY; ATLANTIC GEOLOGY VOL. 25 1 (pages 51-62)

WILLIAMS, G.L.; FENSOME, R.A. (1989). BIOSTRATIGRAPHY/ MATURATION DATA, I, LABRADOR SEA, SELECTED WELLS; BIOSTRATIGRAPHIE/DONNEES DE MATURATION, I, MER DU LABRADOR, PUITS SELECTIONNES; in LABRADOR SEA, in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 38-39)

WILLIAMS, G.L.; FENSOME, R.A. (1989). BIOSTRATIGRAPHY/ MATURATION DATA, II, LABRADOR SEA, SELECTED

WELLS; BIOSTRATIGRAPHIE/ DONNEES DE MATURATION, II, MER DU LABRADOR, PUITS SELECTIONNES; in LABRADOR SEA, in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 40-41)

WILLIAMS, G.L.; FENSOME, R.A. (1989). BIOSTRATIGRAPHY/MATURATION DATA, III, LABRADOR SEA, SELECTED WELLS; BIOSTRATIGRAPHIE/DONNEES DE MATURATION, III, MER DU LABRADOR, PUITS SELECTIONNES; in LABRADOR SEA, in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 42-43)

WILLIAMS, G.L.; FENSOME, R.A. (1989). BIOSTRATIGRAPHY/MATURATION DATA, IV, LABRADOR SEA, SELECTED WELLS; BIOSTRATIGRAPHIE/DONNEES DE MATURATION, IV, MER DU LABRADOR, PUITS SELECTIONNES; in LABRADOR SEA, in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 44-45)

WILLIAMS, G.L.; FENSOME, R.A. (1989). BIOSTRATIGRAPHY/MATURATION DATA, V, LABRADOR SEA, SELECTED WELLS; BIOSTRATIGRAPHIE/DONNEES DE MATURATION, V, MER DU LABRADOR, PUITS SELECTIONNES; in LABRADOR SEA, in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 46-47)

WILLIAMS, G.L.; FENSOME, R.A. (1989). BIOSTRATIGRAPHY/MATURATION DATA, VI, LABRADOR SEA, SELECTED WELLS; BIOSTRATIGRAPHIE/DONNEES DE MATURATION, VI, MER DU LABRADOR, PUITS SELECTIONNES; in LABRADOR SEA, in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 48-49)

WOODSIDE, J.M.; VERHOEF, J. (1989). GEOLOGICAL AND TECTONIC FRAMEWORK OF EASTERN CANADA AS INTERPRETED FROM POTENTIAL FIELD IMAGERY. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, PAPER 88-26 (33 pages)

WOODSIDE, J.M. (1989). GEOPHYSICS, I, LABRADOR SEA, MAGNETIC ANOMALY; GEOPHYSIQUE, I, MER DU LABRADOR, ANOMALIE MAGNETIQUE; in LABRADOR SEA, in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 92-93)

WOODSIDE, J.M. (1989). GEOPHYSICS, II, LABRADOR SEA, GRAVITY ANOMALY; GEOPHYSIQUE, II, MER DU LABRADOR, ANOMALIE GRAVIMETRIQUE; in LABRADOR SEA, in MER DU LABRADOR. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, EAST COAST BASIN ATLAS SERIES (pages 94-95)

ZEVENHUIZEN, J.; JOSENHANS, H. (1989). 1988 EASTERN HUDSON BAY NEARSHORE SURVEY—CCGS NARWHAL—CRUISE REPORT. GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, OPEN FILE 01975 (33 pages)